



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

ANTONIO SANTOS SÁNCHEZ

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA ESCOLA
POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

**SALVADOR
2014**

ANTONIO SANTOS SÁNCHEZ

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA ESCOLA
POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial, da Universidade Federal da Bahia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientador: Ricardo de Araújo Kalid

Salvador
2014

Sánchez, Antonio Santos.

Aproveitamento de Águas Pluviais na Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia / Antônio Santos Sánchez. – Salvador, 2014.

284 f. : il color.

Orientador: Ricardo de Araújo Kalid

Dissertação (mestrado)– Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2014.

1. Águas pluviais. 2. Instalações hidráulicas e sanitárias. 3. Engenharia Ambiental

I. Ricardo de Araújo Kalid. II. Aproveitamento de Águas Pluviais na Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

ANTONIO SANTOS SÁNCHEZ

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Aprovada¹ por:

Orientador _____
Doutor em Engenharia Química pela Universidade de São Paulo,
USP, Brasil;

Banca _____

Salvador, BA - BRASIL
Julho/2014

¹Conforme resolução do Programa, o conjunto de orientadores teve a representação de 1 (um) único voto no parecer final da banca examinadora.

Agradecimentos

- A Larissa, Davi, Teo, e Cristóbal.
- A André Queiroz, grande engenheiro hidráulico e amigo.
- A meu orientador Ricardo Kalid, pelo apoio e paciência.
- Ao pessoal e amigos da UFBA.

Resumo da Dissertação apresentada ao PEI/UFBA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Antônio Santos Sánchez

Julho/2014

Orientador: Prof. Ricardo de Araújo Kalid

Este trabalho apresenta uma metodologia de elaboração de projetos de aproveitamento pluvial em prédios existentes de grande porte, em conjunto com o monitoramento da demanda de água do prédio.

A caracterização e posterior modelagem desta demanda é uma das particularidades do método proposto. Também é dada importância ao cadastro do sistema hidráulico e de drenagem do prédio: sobre estas informações, é projetado um sistema que capte, reserve e distribua a água de chuva até os pontos de consumo, minimizando as intervenções no prédio. Para dimensionar o sistema (determinar o volume de reserva) é proposto um critério econômico que busca maximizar o benefício.

Como exemplo para ilustrar a metodologia proposta, foi avaliada a viabilidade técnica e econômica de um projeto de aproveitamento de água de chuva em um grande prédio universitário na cidade de Salvador (Bahia). A análise econômica deste projeto revelou uma grande atratividade, com elevado índice benefício/custo e um tempo de retorno do investimento de poucos meses. Além dos benefícios econômicos diretos, foram identificados uma série de impactos positivos no sistema de drenagem do local. Ainda, foram estudados outros benefícios ambientais do aproveitamento de água de chuva em prédios da Região Metropolitana de Salvador: economia de energia associada à economia de água e controle de cheias e da qualidade das águas pluviais despejadas.

Abstract of Dissertation presented to PEI/UFBA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

RAINWATER HARVESTING IN THE POLYTECHNIC SCHOOL OF THE FEDERAL
UNIVERSITY OF BAHIA

Antônio Santos Sánchez

July/2014

Advisor: Prof. Ricardo de Araújo Kalid

This work presents a methodology for the development of rainwater harvesting projects in already existing large-sized buildings, altogether with the monitoring of the building's water demand.

The characterization and further modeling of this demand is one of the particularities of the proposed method. It is also emphasized the register of the hydraulic and drainage systems of the building: upon this informations, it is projected a system that collects, reserves and distributes rainwater to the consumption points, minimizing interventions in the building.

In order to size the system (determine the rainwater tank's volume) it is proposed na economical criteria that aims to maximize the profit. é proposto um critério econômico que busca maximizar o benefício.

As an example to illustrate the proposed methodology, it was assessed the technical feasibility and financial viability of a rainwater harvesting project in a big university building in Salvador (Bahia). The financial viability assessment of this project revealed a high profitability index and a payback period of a few months. Besides direct financial benefits, a series os positive impacts in the site's drainage system were identified. Also, they were studied other environmental benefits of rainwater harvesting in the Metropolitan Region of Salvador: the energy savings related to the water savings, the flood wave attenuation and the control of the stormwater quality.

Lista de Figuras

Figura 1. Reajuste tarifário médio (taxa de aumento do preço da água), durante o período de 2001 a 2012.....	15
Figura 2. Estrutura tarifária na qual a EP-UFBA está enquadrada. Preço base do m ³ de água da concessionária (sem taxa de esgoto).....	17
Figura 3. Evolução do valor pago pela EP-UFBA na conta de água.....	18
Figura 4. Área erodida no limite do local da EP-UFBA, no acesso do estacionamento inferior.....	20
Figura 5. Setas de escoamento das águas pluviais, área erodida (círculo vermelho) e áreas que apresentam frequentemente alagamento (área raiada em vermelho).....	21
Figura 6. Áreas com alagamento após uma tormenta. Acesso ao prédio principal.....	21
Figura 7. Áreas com alagamento após uma tormenta. Pátio de laboratórios.....	22
Figura 8. Gráfica de precipitação do evento de chuva exposto na Tabela 1 e seu hidrograma de escoamento em uma bacia.....	22
Figura 9. Brasão da “Green Building Council Brasil”, órgão responsável pelas certificações LEED no Brasil.....	23
Figura 10. Selo Casa Azul com suas categorias bronze, prata e ouro.....	26
Figura 11. Esquema do sistema de abastecimento de água da RMS.....	32
Figura 12. Mapa de pluviometria, Estado da Bahia.....	34
Figura 13. Mapa da Região Semi-Árida do Brasil.....	35
Figura 14. Fluxograma representando a metodologia seguida.....	43
Figura 15. Esquema do sistema de captação e reserva proposto.....	50

Figura 16. Precipitação diária registrada durante os anos 2008 a 2011.....	52
Figura 17. Histograma de precipitação diária durante 1963-2013.....	53
Figura 18. Simulação mediante o Netuno 4.0 para os sistemas do Cenário 60% e do Cenário 100%	56
Figura 19. Simulação mediante a planilha “Chuva8” do TECLIM.....	57
Figura 20. Composição de custos e receitas durante o horizonte de projeto (2015-2034).....	60
Figura 21. Evolução da tarifa para grandes consumidores.....	61
Figura 22. Linhas de tendência exponencial e linear para modelar a evolução da tarifa para grandes consumidores no período 2003-2014.....	62
Figura 23. Fluxo de caixa para cada ano durante o horizonte do projeto, no caso particular de $V=9\text{ m}^3$, Cenário 60%, tarifa “congelada”	64
Figura 24. Benefício calculado para o sistema Cenário 60%, em função do volume de reserva total adotado V	66
Figura 25. Benefício calculado para o sistema Cenário 100%, em função do volume de reserva total adotado V	66
Figura 26. Fluxograma da pesquisa teórica e da posterior elaboração e divulgação de projetos de engenharia.....	77
Figura 27. Plataforma de Coleta de Dados Pluviométricos, instalada na cobertura do prédio principal da EP-UFBA pelo Cemaden.....	78
Figura 28. Torre de resfriamento da Reitoria da UFBA.....	80
Figura 29. Uso de água potável para construções no Campus de Ondina - UFBA.....	80
Figura 30. Frota de veículos da UFBA, estacionados no Campus de Ondina.....	81
Figura 31. Consumo médio mensal dos destiladores das unidades da UFBA, e sua relação Água Destilada produzida/Água de resfriamento usada.....	82
Figura 32. Consumo médio mensal dos destiladores das unidades da UFBA, suposto funcionamento otimizado (relação $AR/AD = 14$).....	83
Figura 33. Poço no Campus de Ondina – UFBA.....	84

Figura 34. Prédio novo no Campus de Ondina – UFBA, com boas condições para a captação, reserva e distribuição por gravidade de água de chuva.....	85
Figura 35. Instalação de pisos e calçadas permeáveis no Campus de Ondina - UFBA.....	85
Figura 36. Vista do hidrômetro principal, reservatórios Inferior e Superior e prumadas de distribuição, que conformam o sistema hidráulico do prédio.....	87
Figura 37. Tubulações da área externa.....	88
Figura 38. Recalque desde o reservatório inferior para o superior.....	89
Figura 39. Tubulação de entrada no reservatório inferior e as dimensões deste (volume máximo, área e altura máxima da lamina de água).....	89
Figura 40. Casa de bombas no 2º andar	91
Figura 41. Dimensões e identificação do modelo da bomba:	92
Figura 42. Identificação do ponto de trabalho da bomba.....	92
Figura 43. Esquema do reservatório superior.....	93
Figura 44. Vista do reservatório superior.....	94
Figura 45. Barrilete de distribuição na saída do reservatório superior.....	94
Figura 46. Prumada de distribuição nº 1.....	95
Figura 47. Prumada de distribuição nº 2.....	95
Figura 48. Prumadas de distribuição nº 3 e nº4.....	96
Figura 49. Detalhe do re-aproveitamento do efluente do lavatório (águas cinzas) na prumada nº 3.....	96
Figura 50. Prumada de distribuição nº 5 e prumada de hidrantes para incêndio.....	97
Figura 51. Imagem das prumadas de distribuição nº 2 e nº 3, 8º andar.....	97
Figura 52. Planta com o local da EP-UFBA (prédio principal, prédio novo em construção e laboratórios) e as curvas de nível.....	100
Figura 53. Vista do parking superior, o qual conforma a sub-bacia B3 (esquerda) e a bacia A (direita).....	101

Figura 54. Bacia A.....	102
Figura 55. Sub-bacia B1 (parte esquerda do estacionamento superior).....	103
Figura 56. Sub-bacia B2.....	104
Figura 57. Sub-bacia B3. No centro da imagem, o prédio novo em construção.....	105
Figura 58. Drenagem das coberturas C1 e C3.....	106
Figura 59. Telhados de fibro-cimento da cobertura C1, no andar 8.....	106
Figura 60. Escoamento das águas pluviais das coberturas C2 e C4.....	107
Figura 61. Escoamento das águas pluviais da cobertura C6.....	107
Figura 62. Coberturas C4, C6 e C5.....	108
Figura 63. Escoamento das bacias D1, D2 e D3.....	109
Figura 64. Áreas das sub-bacias D1 e D2.....	109
Figura 65. Vista da parte traseira do prédio principal da EP-UFBA.....	110
Figura 66. Pátio dos laboratórios, na altura da planta piloto de biogás.....	111
Figura 67. Vista superior do prédio principal e laboratórios mostrando as setas de escoamento, as áreas alagáveis (linhas vermelhas) e a rede de drenagem.....	112
Figura 68. Junção das duas bacias de drenagem principais (D e B) no poço de visita situado na entrada do pátio dos laboratórios.....	178
Figura 69. Vistas do bueiro de saída e da escada drenante que percorre a ladeira em direção à parte baixa do Campus (bairro de Ondina).....	113
Figura 70. Fim da escada drenante. Campus de Ondina.....	114
Figura 71. Canal de drenagem que atravessa o Campus de Ondina – UFBA.....	114
Figura 72. Curvas de nível da bacia de drenagem final.....	115
Figura 73. Medidor de nível usado na experiência: Levelogger Júnior 3000L da Solinst.....	119
Figura 74. Chegada da tubulação de recalque de água no reservatório superior.....	123
Figura 75. Variação do nível do reservatório superior.....	124

Figura 76. Construção da curva de demanda do prédio, subtraindo do nível do reservatório o acréscimo do nível devido ao bombeamento e o consumo durante o tempo de bombeamento.....	126
Figura 77. Gráficas do volume armazenado no reservatório superior, durante sete dias consecutivos.....	127
Figura 78. Dados do hidrômetro principal de entrada, para a semana considerada.....	128
Figura 79. Válvula de fechamento automático na entrada do reservatório inferior.....	129
Figura 80. Variação do nível do reservatório inferior.....	130
Figura 81. Curva de demanda anual de água não potável no prédio.....	134
Figura 82. Variação conjunta chuva / demanda. Curvas de variação para ambos os parâmetros junto dos três coeficientes de correlação ao longo do ano (ρ).....	136
Figura 83. Copa equipada com dispensador de água gelada e pia. Departamento de Materiais, 3º andar.....	139
Figura 84. Três usos de água para consumo humano no prédio: bebedouro desconectado da rede, dispensador de água gelada e fonte-bebedouro	139
Figura 85. Medição setorizada com transmissão dos dados por sinal 4-20 mA. Banheiro principal masculino, 4º andar.....	141
Figura 86. Data-logger centralizado junto aos banheiros do 4º andar.....	141
Figura 87. Consumo médio, em litros por dia, dos banheiros principais monitorados (andares 4 e 7). Ano de 2013.....	142
Figura 88. Planta piloto de biodiesel.....	143
Figura 89. Planta piloto de cultivo de algas para biodiesel.....	145
Figura 90. Modelos de destiladores usados na EP-UFBA.....	146
Figura 91. Betoneira no laboratório de argamassa.....	149
Figura 92. Tanques de cura de amostras em polietileno (500 l) e caixa d'água de 1000 l em fibrocimento.....	150
Figura 93. Veículos pertencentes à frota da UFBA estacionados na Escola Politécnica.	151

Figura 94. Rega de jardins na parte dianteira do prédio principal.....	151
Figura 95. Aparelho de ar condicionado cuja água é reusada. Sala do PEI – Pós-Graduação em Engenharia Industrial, 6º andar.....	152
Figura 96. Fonte ornamental da EP-UFBA.....	153
Figura 97. Distribuição dos usos da água no prédio, considerando períodos de construção e reformas.....	156
Figura 98. Distribuição dos usos da água no prédio, durante os últimos 6 meses (até Dezembro 2013).....	156
Figura 99. Usos da água para fins não potáveis na EP-UFBA.....	157
Figura 100. Gráfica de precipitação do evento de chuva exposto na Tabela 15 e seu hidrograma de escoamento em uma bacia.....	160
Figura 101. Hidrograma resultante da superposição de dois hidrogramas unitários.....	161
Figura 102. Precipitação efetiva e escoamento gerado em um local que possui um sistema de aproveitamento pluvial.....	162
Figura 103. Precipitação efetiva e escoamento gerado em um local sem sistema de aproveitamento pluvial.....	163
Figura 104. Áreas consolidadas e impermeabilizadas em 1998.....	166
Figura 105. Mapa dos padrões de ocupação urbana de Salvador – 2008.....	168
Figura 106. Evolução do indicador energético kWh/m ³ durante os últimos anos. Consumo específico de energia no sistema de abastecimento de água da RMS.....	176
Figura 107. Potencial de economia de energia na substituição de 1 m ³ de água potável por 1 m ³ de água de chuva, na RMS.....	178
Figura 108. Fluxograma da pesquisa teórica e da posterior elaboração e divulgação de projetos de engenharia.....	213

Lista de Tabelas

Tabela 1. Avaliação do potencial de contribuição do sistema de aproveitamento pluvial proposto na obtenção de créditos para obter um certificado LEED.....	25
Tabela 2. Projeção da demanda urbana d'água em Salvador.....	30
Tabela 3. Composição da função de custos em função do volume V de reserva.....	59
Tabela 4. Valor do m ³ de água economizada durante o horizonte do projeto.....	62
Tabela 5. Somas de valor presente (VPL) dos custos e receitas para os volumes escolhidos, considerando “tarifa congelada” de água + esgoto.....	68
Tabela 6. Indicadores de viabilidade econômica nos dois sistemas considerados. Tarifa congelada	72
Tabela 7. Dados das coberturas do prédio principal da EP-UFBA.....	108
Tabela 8. Dados das coberturas dos laboratórios e plantas piloto da EP-UFBA.....	112
Tabela 9. Distribuição dos usos da água no prédio.....	155
Tabela 10. Registro da intensidade de precipitação de um evento de chuva fictício, medida a cada 5 minutos.....	159
Tabela 11. Consumo elétrico dos subsistemas que conformam a rede de abastecimento de água da RMS, no ano 2008.....	175
Tabela 12. Tarifa energia Horosazonal - Verde A4 (2,3 a 25kV).....	181
Tabela 13. Concentração de analisar indicadores bacteriológicos e patógenos em fezes, esgoto, águas superficiais, águas pluviais e águas escoadas dos telhados.....	195
Tabela 14. Valores médios da qualidade e concentração de contaminantes na água de chuva coletada no telhado, considerando diferentes materiais da cobertura.....	200
Tabela 15. Valores médios da qualidade e concentração de contaminantes na água de chuva coletada no telhado, considerando diferentes materiais da cobertura (amostras de first-flush).....	201

Tabela 16. Qualidade da água servida por diferentes sistemas de aproveitamento de água de chuva em locais urbanos.....	211
--	-----

Lista de Equações

eq 1 : metodologia tradicional para o cálculo do volume de água de chuva coletado.....	44
eq 2 : vazão de projeto de um sistema de drenagem.....	98
eq 3 : cálculo das incertezas do medidor de nível Levellogger.....	122
eq 4: cálculo do volume de águas pluviais que poderia ser aproveitado na RMS, sob as três simplificações apresentadas.....	169
eq 5: indicador energético do recalque predial da EP-UFBA.....	180
eq 6 : cálculo do custo da energia gasta no bombeamento predial da EP-UFBA, por m ³	181
eq 7 : cálculo do custo total do m ³ de água consumida na EP-UFBA (água da concessionária + energia do bombeamento predial).....	182

Sumário de Capítulos

1- INTRODUÇÃO, OBJETIVOS, E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
2- MOTIVAÇÕES	13
3- METODOLOGIA	40
4- APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA NA EP –UFBA	48
5- CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	73
APÊNDICE I : SISTEMA HIDROSANITÁRIO E DE DRENAGEM PLUVIAL DA EP-UFBA	86
APÊNDICE II : CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA NO PRÉDIO.....	116
APÊNDICE III : REDUÇÃO DE CHEIAS E INUNDAÇÕES NA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR, MEDIANTE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO PLUVIAL.....	158

APÊNDICE IV : ECONOMIA DE ENERGIA ASSOCIADA À REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA TRATADA.....	172
---	-----

APÊNDICE V : REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE CONTAMINAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE ÁGUA DE CHUVA CAPTADA EM TELHADOS.....	183
---	-----

APÊNDICE VI : PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS.....	216
--	-----

REFERÊNCIAS	231
-------------------	-----

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**
- 1.2 OBJETIVOS**
- 1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A lógica convida a proteger os mananciais de maior qualidade, destinando-os para consumo humano, enquanto as águas de reúso, águas pluviais ou de mananciais de pior qualidade são destinadas a usos menos nobres. A sociedade atual começa a questionar o uso de água potável da máxima qualidade para descarga em vasos sanitários, lavagem de carros, de pisos, ou jardinagem, por exemplo. Este questionamento traduz-se em leis e incentivos, o mais poderoso dos quais é o aumento continuado do preço da água.

As águas pluviais que recebe a área urbana da RMS (Região Metropolitana de Salvador) escoam para a rede de esgoto, para as áreas permeáveis, ou diretamente para o mar, sem aproveitamento.

Na prática moderna da gestão de águas pluviais, o papel dos engenheiros civis e dos técnicos pode ser agrupado em três categorias principais, segundo Gribbin (2008):

- Controle de inundações: gerenciar o escoamento natural das águas de chuva para prevenir danos a propriedades e perdas de vidas.
- Recursos hídricos: explorar os recursos hídricos disponíveis para propósitos benéficos, como abastecimento de água, irrigação, hidroeletricidade e navegação.
- Qualidade da água: administrar o uso da água para prevenir a degradação causada pelos poluentes naturais e antrópicos.

No passado recente as águas pluviais foram tratadas como um recurso não utilizável pelos projetistas de construção civil e urbanismo. Esta visão busca unicamente a drenagem com segurança do volume de chuva precipitado, incluindo mudança de rota do escoamento, dispersão do escoamento, delineamento da área com proteção contra erosão e a providência de uma bacia de retenção. O escoamento é drenado desde as superfícies de captação até os poços de visita, onde acaba se misturando com a rede de esgoto, ou é direcionado longe do local para canais de drenagem e, no melhor dos casos, bacias de infiltração.

Felizmente, esta visão mudou nos últimos anos, gerando um novo enfoque que considera as oportunidades de aproveitamento destas águas no ambiente urbano. Assim, integra-se aproveitamento pluvial e drenagem do escoamento excedente. Contudo os prédios construídos no século passado ainda

consideram a água pluvial um recurso a ser afastado.

A gestão de água pluvial além de reduzir o consumo de água potável, por meio de seu aproveitamento, também diminui o escoamento de águas pluviais, o que contribui para reduzir o risco de inundações e de poluição difusa.

O relatório “Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2012” da Agência Nacional de Água (ANA, 2012) mostra que mais da metade das áreas urbanas existentes no país precisarão buscar outros mananciais para assegurar o abastecimento nos próximos três anos. Para continuar garantindo o abastecimento, as empresas de saneamento devem investir seus recursos em aumentar a oferta (o sistema produtor), incrementar a eficiência do sistema de distribuição (controle de perdas e melhora de equipamentos) e reduzir a demanda (reúso e combate ao desperdício).

O aproveitamento de águas pluviais satisfaz parte do consumo de água que, de outra maneira, seria abastecido mediante a água potável proveniente da rede da cidade.

Pode ser enquadrado dentro das medidas de redução da demanda, pois reduz a quantidade de água que a cidade precisa e que geralmente é importada de outras regiões, substituindo-a com um recurso renovável produzido na área urbana. Assim a cidade torna-se mais auto-suficiente e demanda menos recursos hídricos das regiões circundantes.

Portanto o aproveitamento da água de chuva pode ser considerado como um aumento da oferta de água, que complementa o abastecimento da rede urbana. Assim, para a mesma demanda d'água na cidade (litros·habitante/dia) haveria uma rede de abastecimento centralizada, tradicional, que garantiria o fornecimento de água tratada de qualidade potável. Em paralelo, os pontos de consumo urbano desenvolveriam mananciais alternativos (água de chuva, água de poço ou de reúso). Esta água é de qualidade inferior que a potável oferecida pela rede de distribuição, e poderia ser inserida no sistema hidro-sanitário dos pontos de consumo após um tratamento de muito menor custo que o da água da rede centralizada. As devidas precauções para que não haja cruzamento entre as redes de qualidades diferentes devem ser adotadas, sinalizando e diferenciando os pontos de água potável dos pontos de água de chuva.

O uso de água de chuva disponibiliza água no ponto onde é mais necessária (nas cidades, muitas vezes em cotas elevadas que permitem sua distribuição por gravidade), e perto de pontos de consumo que poderiam ser abastecidos com água não potável.

Desde esta ótica, o que estaria acontecendo ao usar água de chuva não seria uma redução da

demanda de água, e sim uma racionalização do seu uso: água da máxima qualidade para consumo humano e água de qualidade inferior à potável para usos menos nobres. Neste modelo, a rede hidro-sanitária da cidade, e mais especificamente as redes das unidades de consumo, evoluem para um modelo mais eficiente que separa a demanda total de água em: demanda de água potável e demanda de água não potável.

O aumento a escala global do preço da água, é reflexo da infra-valorização da qual este recurso era objeto, da escassez cada vez maior (desequilíbrio entre a oferta limitada e a demanda continuamente crescente) assim como da tendência à privatização nos serviços de água e esgoto.

Dentro deste contexto, as medidas de reúso e aproveitamento de águas pluviais costumam ter retorno econômico e o investimento para implantação do sistema é pode ser amortizado com os recursos proporcionados pela redução dos gastos com água.

Além da economia direta para o usuário, a água de chuva captada na cidade possui um custo inferior para a sociedade e o meio ambiente, pois economiza a energia gasta na captação e bombeamento da água que é importada desde longe da cidade, assim como a energia e os produtos químicos gastos no tratamento da água para torna-la potável.

No Brasil, o país do Mundo que possui os maiores recursos hídricos (embora muito desigualmente repartidos), as empresas públicas e privadas de saneamento estão participando da tendência global de forte aumento nas tarifas da água fornecida (Pereira, 2007), o que está impulsionando à sociedade para projetos de eficiência no uso da água.

Nos últimos anos, tem proliferado no país projetos de combate ao desperdício, reúso de água, e aproveitamento de águas pluviais. A motivação na realização destes projetos é em grande parte econômica, embora os promotores beneficiam-se do prestígio que estes projetos “sustentáveis” outorgam, numa sociedade cada vez mais conscientizada com o valor da água. Inclusive, esta conscientização tem cristalizado em algumas áreas do país na forma de leis municipais que obrigam ao aproveitamento da água da chuva.

Em São Paulo, o Projeto de Lei Nº 7849/2010 (BRASIL, 2010), “dispõe sobre a obrigatoriedade de reservatórios e captadores de água de chuva nos postos de revenda de combustíveis e nos estabelecimentos de lavagem de veículos, e dá outras providências”.

Na Câmara Municipal de Jundiaí, São Paulo, o Projeto de Lei Nº. 10.251/2009 (BRASIL, 2009) “prevê implantação de sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais nas escolas da

rede municipal de ensino”.

Na Câmara Municipal de Tubarão, Santa Catarina, o Projeto de Lei Nº 12/2008 (BRASIL, 2008) “dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas projetistas e de construção civil a prover os imóveis de residenciais e comerciais de dispositivo de captação de água de chuva e dá outras providências” além de leis específicas para postos de combustível e lavagem de veículos (BRASIL, 2006).

Em Salvador, além do recentemente aprovado “IPTU Verde” (CMS, 2013) existe o Projeto de Lei Nº 66/2009 (Reconstituído) da Câmara Municipal de Salvador (CMS, 2010), que “estabelece a obrigatoriedade da implantação de mecanismo de captação e armazenamento das águas pluviais nas coberturas das edificações, e a captação, reciclagem e armazenamento das águas servidas para posterior utilização em atividades que não exijam o uso de água tratada nos empreendimentos pluri-domiciliares e comerciais no Município do Salvador e dá outras providências”.

Em Portugal, uma resolução aprovada em 2011 recomenda o uso de aproveitamento pluvial em prédios públicos e infraestrutura de nova construção:

A Assembleia da República resolve, nos termos do n.º 5 do artigo 166.º da Constituição, recomendar ao Governo que tome a iniciativa de prever a construção de redes secundárias de abastecimento de água, com aproveitamento das águas pluviais, em edifícios, instalações e equipamentos públicos de grande dimensão, tendo em vista a sua utilização para usos e fins não potáveis, no sentido de se obterem ganhos ambientais, energéticos e econômicos.

(DRE, 2011, p 654).

Como exemplo da tendência a incorporar nas leis municipais uma gestão das águas pluviais que inclua seu aproveitamento, apresenta-se o caso de vários municípios alemães, cujas leis focam numa “taxa sobre a impermeabilização de áreas”, que repercute em benefícios ou penalizações no valor pago na conta de esgoto.

Nos anos 90 foram alteradas as leis da água de diversos estados da Alemanha, com a finalidade de evitar que aumentasse o escoamento para a rede de drenagem urbana após a construção de um edifício ou casa. Os benefícios procurados com as novas leis foram aumentar a infiltração no solo, reduzir os custos crescentes com o tratamento de esgoto (pois esgoto concentrado tem um tratamento mais eficaz e de menor custo) e reduzir as seções transversais cada vez maiores das tubulações de esgoto. Estas seções são determinadas pelo escoamento da água da chuva, maiores do que realmente necessário para esgoto, pois no citado município as águas pluviais são escoadas pela rede urbana de

esgoto.

Os municípios alemães que alteraram as suas taxações passaram a requerer que nas áreas de construções novas haja obrigatoriamente mais aproveitamento de água pluvial, através de telhados verdes, cavas de infiltração ou cisternas. As construções já existentes não são afetadas, mas a taxa de esgoto diferenciada tem um efeito estimulador na adoção destes sistemas.

Por exemplo, no município de Freiburg (1830 moradores e 700 mm de precipitações anuais) usa-se a “taxa de esgoto diferenciada”. Utiliza-se como referência a área construída, a partir da qual a água pluvial é conduzida ao sistema de drenagem urbano. Esse cálculo de taxas é obrigatório a partir de uma área conectada à drenagem urbana com 1000 m².

Os proprietários de terrenos menores podem optar entre uma taxa mista ou taxa diferenciada, de acordo com o consumo de água potável:

- Taxa de esgoto mista: é cobrado 1,62 €/m³
- A taxa diferenciada: é cobrado 1,16 €/m³
- Ainda, são cobrados anualmente 4,96 € a cada 10 m² de área impermeabilizada, para a remoção da água de chuva.

Assim, um prédio que aproveite ou infiltre toda (ou uma parte) da água de chuva que recebe, obterá um desconto de quase 30% na conta de esgoto, além de reduzir sua superfície impermeável (sem aproveitamento nem infiltração). Essa superfície impermeável é penalizada com um imposto direto no caso de que a área total do local seja maior de 1000 m² (FREIBURG, 2007).

O aumento do preço da água potável, unido aos incentivos legais que começam a surgir, tem incentivado um grande número de consumidores particulares para a adoção de sistemas de aproveitamento pluvial.

No caso de entidades públicas, como Universidades, Escolas ou grandes prédios administrativos, ainda é incomum o aproveitamento de mananciais *alternativos* (águas pluviais, reúso de águas cinza, águas subterrâneas). As equipes gestoras destes prédios costumam focar seus esforços na manutenção necessária para garantir a operatividade dos prédios de maneira que funcionários, estudantes e pesquisadores possam realizar seus cometidos. Nesta situação, os índices de consumo de água e energia destes prédios costumam ser considerados como parâmetros secundários. Não há incentivos para aproveitar potenciais oportunidades de economia de água e energia, o principal dos quais seria o re-investimento na própria entidade dos valores economizados nas despesas de água e energia.

Embora, esta situação está mudando e muitos destes organismos públicos já contam com programas de uso eficiente de água, alguns deles desde há uma década.

Para obter redução no desperdício e assim ter um maior controle sobre o consumo de água em suas unidades, a Universidade Federal da Bahia – UFBA iniciou um Programa de Uso Racional da Água denominado Programa AGUAPURA. Os resultados obtidos por este programa, desde o ano 2000, foram significativos do ponto de vista ambiental, econômico e social. Como principais resultados deste programa, os autores Kalid et al (2010) citaram:

- Redução do consumo de água. Durante o período de 1998 a 2000 era de 26 mil m³/mês e diminuiu para 15 mil m³/mês em 2009;
- Diminuição do consumo específico que era 5,2 (m³/mês)/aluno durante o período 2000 e 2003, e melhorou para 1,7 (m³/mês)/aluno em 2009;
- Economia na conta de água estimada pelo AGUAPURA em 2 milhões de reais por ano;
- Melhora no controle do consumo de água representada na diminuição na variabilidade do consumo: o desvio padrão que era de aproximadamente 33×10^3 m³/mês em 1998 desceu para $2,0 \times 10^3$ mil m³/mês ao final de 2009;
- Disseminação dentro da Universidade de práticas para adoção de um consumo consciente e uso racional da água.

Segundo estes dados, o AGUAPURA obteve uma redução de 42% no consumo de água na UFBA, num período (anos 2000 a 2009) em que esta instituição experimentou uma expansão, com aumento no número de alunos matriculados. O resultado obtido por este tipo de programas costuma ser espetacular.

O Pura – Programa de Uso Racional de Água da Universidade de São Paulo – USP, obteve 43% de redução no consumo de água entre 1998 e 2007 (GONÇALVES, 2008). Segundo este autor “transcorridos quase dez anos, o consumo de água na Cidade Universitária da USP apresentou uma redução de 43%, diminuindo de 138×10^3 m³/mês (em 1998) para 79×10^3 m³/mês (em 2007)”.

A Cidade Universitária, campus da USP na capital, possuía em 2007 uma população fixa de 55 mil pessoas. O abastecimento de água é realizado de maneira análoga aos Campi da UFBA: a concessionária local abastece o Campus por múltiplas ligações das quais derivam cerca de 2000 m de rede hidráulica para abastecimento direto dos diferentes prédios e unidades. Após desenvolver

campanhas de sensibilização, ações de redução de perdas físicas (vazamentos), e cadastro de redes e reservatórios, o Pura/USP aplicou um sistema de gestão da demanda baseado em: leituras *in loco* nos hidrômetros do Campus, medição setorizada com sistema de leitura remota, e aproveitamento das leituras realizadas pela concessionária local (Sabesp). Por último, foram substituídos trechos antigos de tubulações e foi instalada uma nova válvula redutora de pressão. Devido à grande economia produzida, o tempo de retorno do investimento foi de somente três meses.

Dentro deste contexto, a pesquisa apresentada neste trabalho pretende continuar em esta linha de trabalho, desenvolvendo uma metodologia focada em um grande prédio universitário: a EP-UFBA, Escola Politécnica da UFBA. Explora-se um ramal novo do Programa AGUAPURA: a redução da água potável consumida da rede mediante o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis. Os resultados, métodos e propostas desenvolvidos neste trabalho são aplicáveis em outras unidades da UFBA e em grandes conjuntos prediais da região. A implementação de um sistema de aproveitamento pluvial iria converter este prédio em um valioso projeto piloto para a área urbana dentro da qual este prédio está inserido.

1.1 OBJETIVOS

Esta pesquisa visa estabelecer uma metodologia de elaboração de projetos de aproveitamento pluvial em grandes prédios existentes, em conjunto com o monitoramento da demanda de água do prédio. Como objetivo geral, estabelece-se a elaboração de uma metodologia que deve poder ser usada nas diferentes unidades da UFBA, e em outros grandes prédios públicos.

Como objetivos secundários, propõe-se:

- caracterizar a demanda de água não potável da EP-UFBA, em termos quantitativos ($\text{m}^3/\text{mês}$, para cada mês do ano) e qualitativos (requisitos de qualidade de cada uso não potável). Pretende-se também elaborar um modelo que permita prever esta demanda, aplicando técnicas de modelagem mediante redes neurais e lógica fuzzy.
- avaliar a viabilidade técnica de um projeto de aproveitamento de água de chuva na EP-UFBA. Será descrito e orçado um sistema que capte, reserve e distribua a água de chuva até os pontos de consumo.

- descrever a situação dos sistemas hidro-sanitário e de drenagem do prédio, e como um sistema de aproveitamento pluvial iria interferir no seu normal funcionamento. As potenciais incompatibilidades, os impactos e os benefícios deverão ser caracterizados.
- avaliar a viabilidade econômica de um projeto de aproveitamento de água de chuva na EP-UFBA.
- além da própria economia de água, avaliar outros benefícios ambientais do aproveitamento de água de chuva em prédios: economia de energia associada à economia de água, controle de cheias e da qualidade das águas pluviais despejadas.

Esta dissertação pretende servir como uma pesquisa preliminar que sirva de base para um projeto de engenharia que, após análise e aceitação das entidades gestoras da EP-UFBA, viabilize a implementação de um sistema de aproveitamento pluvial neste edifício, com continuação em vários projetos de aproveitamento pluvial na EP-UFBA. Estes projetos deverão estar adaptados à normativa vigente, ser tecnicamente viáveis e apresentar um orçamento ajustado à realidade, que permita um estudo de viabilidade e retorno econômico. Portanto, em concordância com este objetivo, esta dissertação quer apresentar rigor técnico em suas explicações, com abundância de termos usados em instalações prediais hidro-sanitárias e sistemas de drenagem e distribuição de água. Procura-se também a qualidade da informação no uso de instrumentação e das bases de dados, estimando e minimizando quando possível a incerteza cometida.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos últimos anos, surgiram uma grande quantidade de trabalhos técnicos e acadêmicos, nas áreas de engenharia civil e sanitária, que propuseram sistemas de aproveitamento pluvial para fins não potáveis nas universidades que ministravam estes cursos. Como um exemplo destes trabalhos, Lopes (2012) estudou a viabilidade técnica de um sistema deste tipo na Universidade Federal de Uberlândia (MG). Neste estudo, foi considerado um bloco de aulas cujos mictórios e bacias sanitárias eram abastecidas por uma única tubulação. Este fato facilitou a medição da demanda de água não potável, mediante a instalação de um hidrômetro nesta tubulação. Foi realizado o dimensionamento dos reservatórios (método de Rippl) e estimada a viabilidade do sistema, mediante os dados de demanda e os dados pluviométricos locais. Embora não foi realizada nenhuma análise estatística, foi realizado um estudo levando em conta a demanda conjuntamente com a pluviometria local.

No caso da EP-UFBA, além do uso de ferramentas como medição setorizada e instrumentação para caracterizar a demanda, necessárias para um prédio deste porte, dispôs-se de uma série histórica com dados de consumo da última década (AGUAPURA VIANET, 2013).

Desta forma, esta pesquisa fez um uso intensivo de duas bases de dados:

Para os dados pluviométricos do local foi usado o BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (INMET, 2013), enquanto a base de dados de consumo de água foi facilitada pelo Sistema Aguapura (AGUAPURA VIANET, 2013).

Os dados de demanda foram completados com duas fontes: uma pesquisa de elaboração própria usando um medidor de nível com *data logger* no reservatório superior do prédio, e os dados das medições de hidrômetros com *data logger*, nos banheiros do prédio, facilitados pelo AGUAPURA. Para o uso do medidor de nível e seu software de tratamento de dados, resultaram indispensáveis os manuais do equipamento (*Levellogger Junior*) e do *Levellogger Series Software 4.1.0* (SOLINST, 2013). Os dados da medição setorizada dos banheiros do prédio foram facilitados diretamente pelo AGUAPURA (histórico de consumo de 2013), se bem também foi consultado o trabalho anterior de Machado et al. (2010).

No cálculo da demanda e na estimação dos consumos de equipamentos destiladores, foram aproveitadas pesquisas anteriores do AGUAPURA, em particular o realizado por Nakagawa (2009), que contabilizou o número, tipo e consumo de água destes equipamentos até essa data, na UFBA.

Contudo, foi necessário realizar uma pesquisa de campo para atualizar estes dados, o que foi feito para os laboratórios da EP-UFBA: foram adquiridos novos equipamentos e constatou-se uma maior atividade nos laboratórios em 2013 (maior uso dos destiladores), com respeito a 2009.

Ornelas (2004) realizou uma pesquisa sobre reúso de águas cinza nos banheiros da EP-UFBA. Em esta pesquisa, foram realizadas análises da qualidade de água presente em vasos sanitários. Assim, foram analisadas amostras de água de vasos sanitários de banheiros da EP-UFBA. Os resultados desta campanha de análise de amostras resultaram de utilidade para avaliar os requisitos de qualidade da água necessários para descargas em banheiros da EP-UFBA, que é responsável por uma grande parte do consumo de água para fins não potável.

Uma vez em posse de dados de demanda atualizados para o prédio, foi encarado o desafio de modelar a curva de variação anual da demanda, mediante três métodos: redes neurais, lógica *fuzzy* e mediante a média dos dados históricos de consumo.

Há disponível uma grande bibliografia de modelagem de demanda de água em sistemas urbanos mediante modelos baseados em redes neurais. Além da bibliografia clássica de redes neurais, foram consultados Odan (2010) e Santos (2011) os quais elaboraram uma previsão de demanda de água na Região Metropolitana de São Paulo mediante redes neurais artificiais. Embora, o foco destes trabalhos foi a variação da curva diária do consumo de água (períodos de 24h), visando a operação em tempo real de sistemas de abastecimento de água. Constatou-se que ainda não foram usados modelos de redes neurais para prever demanda de água em uma escala menor (grandes conjuntos prediais) como é o caso da Escola Politécnica da UFBA. Por outra parte, estes modelos visam à caracterização da curva diária (24h) ou demanda no curto prazo. Para conseguir comparar os dados de demanda com os dados pluviométricos e estabelecer correlações, é necessário referir-se às curvas de variação anuais.

Outro diferencial desta dissertação é considerar os impactos do aproveitamento pluvial na drenagem da área onde o prédio está inserido: o Campus de Ondina-Federação. O livro “Introduction to Hydraulics and Hydrology with Applications for Stormwater Management” (GRIBBIN, 2008) resultou de grande utilidade no estudo dos impactos que um sistema de aproveitamento pluvial teria no escoamento de águas pluviais, pois descreve com clareza e rigor a dinâmica de funcionamento de uma bacia hidrográfica além do uso de ferramentas como hidrogramas e diagramas de precipitação efetiva. A terceira edição deste livro está disponível em português, sob o nome “Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais” (2012) da editora Cengage Learning.

Na parte de cadastro e levantamento do sistema hidro-sanitário existente no prédio, foram

consultados os livros “Instalações Hidráulicas e Sanitárias” de Creder (2006) e “Instalações Hidráulicas - Prediais e Industriais” de McIntyre (2010), assim como “Bombas e Instalações Hidráulicas” de Santos (2008).

Na procura de rigor técnico e viabilidade dos sistemas pluviais propostos, foram consultadas estas normas técnicas nacionais: “NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos (ABNT, 2007)” e “NBR 5626: Instalação predial de água fria (ABNT, 1998)” e “NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais (ABNT, 1989)”.

Também foram considerados normas e documentos técnicos internacionais, como a “Norma Internacional de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (DIN, 2001)”, a norma portuguesa “ETA 0701 - Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Edifícios” (CTA, 2009) e “Guidelines for water reuse” do Governo dos Estados Unidos de América (EPA, 2012).

Um aspecto quantitativo chave na elaboração de um projeto de um sistema de aproveitamento de água de chuva consiste no correto dimensionamento da capacidade de reserva do sistema. Para tal, precisa-se determinar o volume de água de chuva que seria aproveitada no prédio, dadas sua curva de demanda, os dados pluviométricos do local, e um volume de reserva genérico. Por isso, este tema foi objeto de uma revisão bibliográfica que é apresentada no Capítulo 3, que compreende os métodos e programas de cálculo mais usados.

Por último, os aspectos qualitativos deste tipo de sistemas também são abordados. Apresenta-se no Apêndice V uma revisão bibliográfica com 173 trabalhos científicos sobre contaminação físico-química e microbiológica de água de chuva captada em telhados.

CAPÍTULO 2 - MOTIVAÇÕES

2.1- BENEFÍCIOS DO ÚSO DA ÁGUA DE CHUVA NA ESCOLA POLITÉCNICA DA UFBA

2.1.1- ECONOMIA DIRETA COM AS DESPESAS DE ÁGUA

2.1.2- MELHORA NA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM DO PRÉDIO

2.1.3- CONTRIBUIÇÃO NA OBTENÇÃO DE CRÉDITOS PARA CERTIFICAÇÃO LEED

2.2- BENEFÍCIOS DO ÚSO DA ÁGUA DE CHUVA EM SALVADOR

2.2.1- REDUÇÃO DA PRESSÃO SOBRE OS MANANCIAIS TRADICIONAIS

2.2.2- REDUÇÃO DE CHEIAS E INUNDAÇÕES

2.2.3- ECONOMIA DE ENERGIA ASSOCIADA À REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA TRATADA

2.1 – BENEFÍCIOS DO ÚSO DA ÁGUA DE CHUVA NA ESCOLA POLITÉCNICA DA UFBA

2.1.1 ECONOMIA DIRETA COM AS DESPESAS DE ÁGUA

Qualquer medida de redução do consumo de água no prédio irá ter um impacto econômico direto nas despesas mensais da EP-UFBA, provocando uma economia de recursos que poderiam ser destinadas a outros usos, como financiamento de pesquisas ou aquisição de material.

Este impacto econômico quantifica-se, no final de 2013, em R\$ 26 por m³ de água economizada. Por mês, a EP-UFBA destina em torno de R\$ 14 mil à conta de água e esgoto (AGUAPURA VIANET, 2013).

Evolução do valor faturado por m³ de água

A concessionária dos serviços de água e esgoto no Estado da Bahia é a EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento.

O reajuste tarifário médio praticado por esta concessionária, durante os últimos 12 anos, tem sido de um 10% a cada ano, como mostra a Figura 1.

Figura 1. Reajuste tarifário médio (taxa de aumento do preço da água), durante o período de 2001 a 2012.



Fonte: EMBASA, 2013

Este aumento continuado no valor cobrado pela água é comum nas prestadoras de serviços de água e esgoto do Brasil todo, e insere-se dentro de uma tendência global de aumento do preço da água, fruto da privatização deste serviço, e do aumento da demanda e dos custos de produção.

O aumento médio de 10,61% nas tarifas em 2008 exemplifica esta tendência à alta no preço da água. Para este aumento, a concessionária alegou como justificativa os “altos reajustes sofridos por insumos derivados do petróleo, como tubos de PVC e Polietileno, e nos produtos químicos necessários ao tratamento da água” além do mencionado argumento dos investimentos em infraestrutura:

“O reajuste busca, também, recuperar uma pequena parcela dos R\$ 1,6 bilhão que serão investidos até dezembro de 2010, na implantação e ampliação de sistemas de água e esgoto em diversos municípios da Bahia para que o Governo do Estado atinja a meta de atender mais 3,5 milhões de pessoas com água de qualidade e esgotamento sanitário, dentro do Programa Água para Todos.”

Nota informativa (EMBASA, 2008).

A necessidade de investimentos em saneamento básico é um argumento para as concessionárias

aumentarem suas tarifas. Segundo o “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos do ano 2010” (SNSA, 2012) o índice de atendimento com rede, indicador que mede a porcentagem da população atendida foi na Bahia de 75,8% para água e 27,5% para esgoto. O índice de tratamento dos esgotos gerados foi nesse ano de 40,6%.

A visão da concessionária sobre a futura evolução das tarifas é clara e aparece exemplificada no corolário da nota informativa antes mencionada:

“Se o disposto no decreto estadual 3.060 e na Lei Nacional de Saneamento Básico para o cálculo das tarifas de água e esgoto fosse cumprido em sua plenitude, o preço pago pela água tratada teria que ser reajustado em 51,18%, pois de acordo com a nova regulamentação do saneamento, as concessionárias terão que prestar seus serviços com sustentabilidade econômico-financeira”

Nota informativa (EMBASA, 2008).

Outro argumento da concessionária para aumentar o preço da água fornecida é o continuado aumento do preço da energia elétrica, que tem uma incidência direta nos custos de produção da água. Segundo a EMBASA (EMBASA: TSE, 2013) a evolução do custo unitário da energia elétrica, expressado em R\$ / kWh, tem sido de 16,75% no período 2007 a 2012.

O aumento das tarifas de água proposto pela prestadora encontra uma forte resistência por parte da população, e precisa da aprovação de entes reguladores, antes de entrar em vigor.

Assim, a proposta de reajuste tarifário elaborada pela concessionária é posteriormente avaliada pela CORESAB - Comissão de Regulação dos Serviços Públicos de Saneamento Básico do Estado da Bahia, que leva em conta critérios de desempenho da prestadora de serviços, os quais são medidos por indicadores e pelo nível de cumprimento das metas estabelecidas.

Em conceito de taxa de esgoto, a concessionária cobra uma taxa adicional de 80% do valor de cada m³ faturado.

O último reajuste nos preços da água proposto pela concessionária foi aprovado pela Resolução CORESAB N° 002/2012 com vigência a partir de 1 de maio de 2012 (CORESAB, 2012).

Desde essa data, a Escola Politécnica da UFBA passou a pagar um total de:

$$\text{R\$ } 14,53 \text{ p/ m}^3 + 80\% \text{ de taxa de esgoto} = \text{R\$ } 26,154 \text{ p/ m}^3 \text{ de água fornecida}$$

(Categoria pública, grandes consumidores)

A Escola Politécnica, ao igual que as restantes unidades da UFBA, enquadram-se dentro da categoria de consumidores “Pública”. Devido ao seu elevado consumo (552 m³ em Novembro de 2013) situa-se na faixa de “Grandes consumidores – mais de 50 m³ mensais”. O valor do m³ da água faturada, sem a taxa de esgoto e com o ICMS, é ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Estrutura tarifária na qual a EP-UFBA está enquadrada. Preço base do m³ de água da concessionária (sem taxa de esgoto).

Faixas de Consumos	Comercial	Pequenos Comércios	Derivações Comerciais de Água Bruta	Construção e Industrial	Pública
Até 10 m3	R\$ 56,20 p/ mês	R\$ 24,00 p/ mês	R\$ 9,20 p/ mês	R\$ 56,20 p/ mês	R\$ 56,20 p/ mês
11 - 50 m3	R\$ 12,32 p/ m3	R\$ 12,32 p/ m3	R\$ 1,04 p/ m3	R\$ 12,32 p/ m3	R\$ 12,32 p/ m3
> 50 m3	R\$ 14,53 p/ m3	R\$ 14,53 p/ m3	R\$ 1,13 p/ m3	R\$ 14,53 p/ m3	R\$ 14,53 p/ m3

Fonte: EMBASA, 2013.

A água potável é um recurso infra valorado cujo valor estava situado embaixo do seu valor real. Esta situação está sendo revertida à escala mundial.

No Brasil, apesar do aumento das tarifas de água ver-se freado pela resistência da população, e precisar da aprovação de entes reguladores, foi ilustrado que a tendência é clara na direção do aumento continuado no preço da água fornecida pela concessionária.

No caso de um grande prédio similar à EP-UFBA, os projetos focados para a redução do consumo de água da rede podem estar direcionados para consumo eficiente (uso racional, pesquisa de

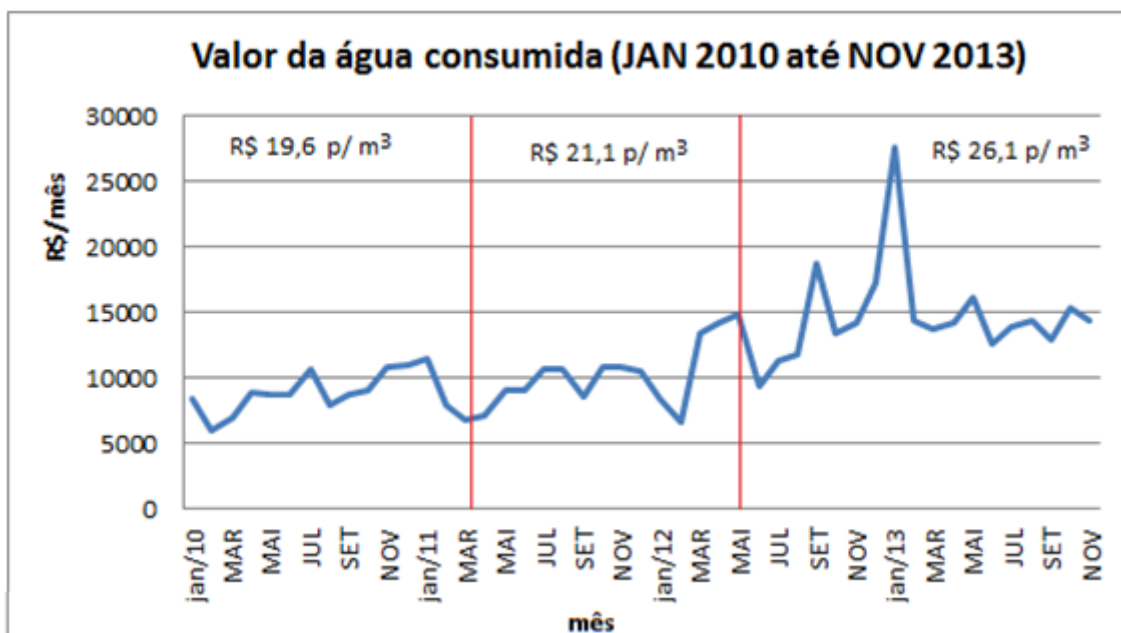
vazamentos) ou aproveitamento de mananciais alternativos (água de chuva, reúso, poços). Para calcular a viabilidade econômica destes projetos, é preciso de um valor de referência para o m³ de água fornecida na rede.

Se bem não é possível estabelecer se a taxa de aumento do preço da água, durante os próximos anos, será similar à experimentada nos últimos 12 anos (reajuste tarifário médio de 10% por ano), após a análise apresentada pode-se concluir que pelo menos o preço de água irá permanecer constante, sendo altamente improvável um decréscimo no preço da água. Em 2013, cada m³ de água potável que a EP- UFBA consume da rede tem um custo de R\$ 26,154 p/ m³. Uma análise conservadora de viabilidade econômica pode ser feita considerando que o preço de água irá permanecer constante durante todo o horizonte do projeto, embora outras análises mais ousadas (e também mais próximas à realidade) poderiam considerar este valor acrescentado de um incremento de 10% anual.

Despesas gastas pela EP-UFBA em água

No ano de 2013, o valor da água consumida na Escola Politécnica da UFBA situa-se estabilizado em torno de R\$ 14 mil por mês, como mostra a Figura 3.

Figura 3. Evolução do valor pago pela EP-UFBA na conta de água.



Fonte: AGUAPURA VIANET, 2013.

Nesta figura, observamos que durante 2013 houve dois picos de consumo irregulares relacionados com a construção do prédio novo e a lavagem da fachada do prédio antigo. Também podemos observar que as despesas pagas pela EP-UFBA à EMBASA em conceito de água e esgoto oscilam em torno de um valor médio, com um valor máximo dobro do valor mínimo anual. A curva mostrada é um reflexo da curva de demanda de água anual do prédio, de forma oscilante com dois mínimos anuais (que coincidem com os dois recessos acadêmicos anuais).

Durante o período mostrado na figura, foram realizados dois reajustes tarifários: em Março de 2011 a tarifa de água (sem ICMS) passou a ser R\$ 11,72 p/ m³ e em Maio de 2012 subiu para R\$ 13,23 p/ m³.

Segundo os dados registrados pelo Programa Aguapura (AGUAPURA VIANET, 2013), baseados na leitura direta do hidrômetro principal, o consumo médio de água foi de 20,9 m³/mês (2013), 20,1 m³/mês (2012), 15,6 m³/mês (2011) e 17,42 m³/mês (2010); essa redução é atribuída às medidas de uso racional do Programa Aguapura.

2.1.2 MELHORA NA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM DO PRÉDIO

A construção e as sucessivas ampliações da EP-UFBA, cujo local era inicialmente uma área verde com forte declividade, teve um grande impacto no terreno, impermeabilizando 1,5 ha de superfície.

O local da EP-UFBA apresenta áreas de erosão, em vários pontos com forte declividade, e áreas alagáveis, onde se acumula água em forma de poças até sua evaporação. As fortes chuvas também provocam acúmulo de detritos, areia e sujeira, o que provoca o assoreamento de canais de drenagem e sarjetas. Todos estes problemas incidem negativamente na circulação normal de pessoas e veículos, especialmente durante e após chuvas de intensidade média e forte. Estes problemas seriam atenuados pela existência de um sistema de aproveitamento de águas pluviais no local, pois iria funcionar como uma bacia de retenção além de aliviar a carga depositada nas estruturas de drenagem existentes na EP-UFBA.

No Apêndice III desta dissertação são explicados os benefícios que os reservatórios de águas pluviais, atuando como bacias de retenção, geram na atenuação da onda de cheia e no controle da qualidade das águas pluviais que são vertidas às bacias hidrográficas às quais contribuem.

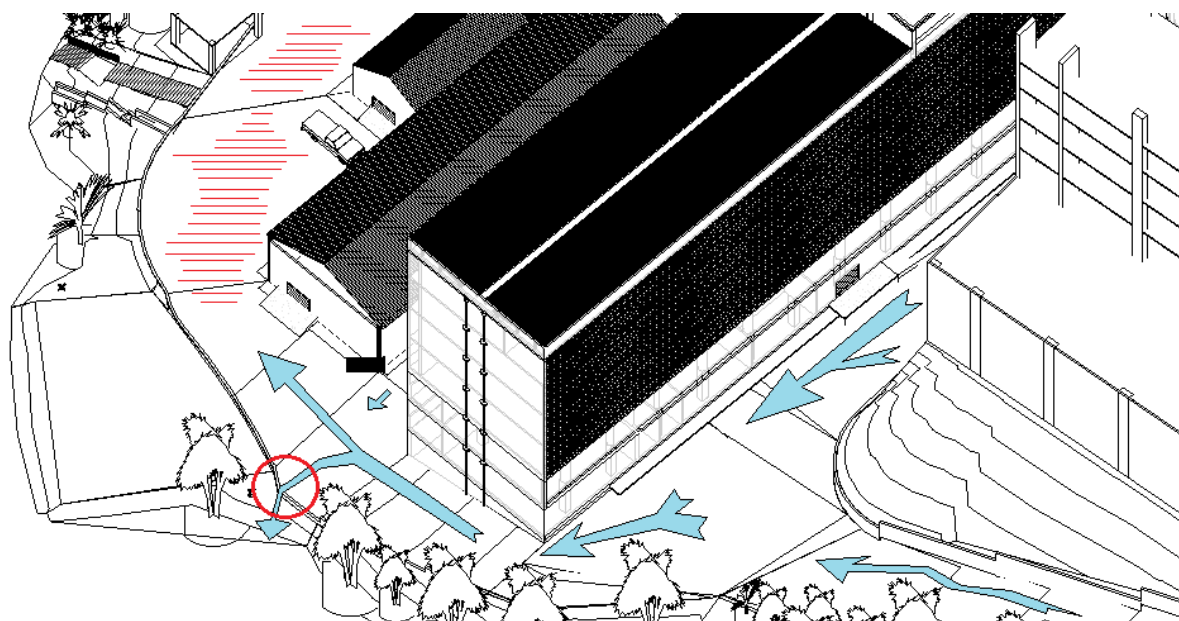
Áreas de Erosão e Áreas alagáveis na EP-UFBA

Figura 4. Área erodida no limite do local da EP-UFBA, no acesso do estacionamento inferior.



Fonte: arquivo pessoal do autor (25/11/2013). Esta área está sinalizada com um círculo vermelho na figura 5.

Figura 5. Setas de escoamento das águas pluviais, área erodida (círculo vermelho) e áreas que apresentam frequentemente alagamento (área raiada em vermelho).



Áreas alagáveis

Figura 6. Áreas com alagamento após uma tormenta. Estacionamento inferior.



Fonte: arquivo pessoal do autor (29/11/2013).

Figura 7. Áreas com alagamento após uma tormenta. Acesso ao prédio principal.



Fonte: arquivo pessoal do autor (29/11/2013).

Figura 8. Áreas com alagamento após uma tormenta. Pátio de laboratórios.



Fonte: arquivo pessoal do autor (29/11/2013).

2.1.3 CONTRIBUIÇÃO NA OBTENÇÃO DE CRÉDITOS PARA CERTIFICAÇÃO LEED e CASA AZUL

Certificação LEED

Figura 9. Brasão da “Green Building Council Brasil”, órgão responsável pelas certificações LEED no Brasil.



O nome LEED significa *Leadership in Energy and Environmental Design*, que quer dizer “Liderança em Projeto Ambiental e Energético”.

Uma certificação LEED agrega valor a um prédio existente ou a um novo empreendimento, pois além da economia de água e energia elétrica ao longo de toda a vida útil do prédio, este terá conforto térmico, padrão de qualidade e poderá ser considerado como ambientalmente correto.

Esta certificação para construções sustentáveis é concedida pela Organização não governamental norte-americana “U.S. Green Building Council” (USGBC), de acordo com os critérios de racionalização de recursos (energia, água, etc.), conforto térmico, impacto ambiental e padrão de habitabilidade atendidos por um edifício. Há uma tendência mundial de que as exigências para a certificação LEED sejam incorporadas aos códigos de obras municipais.

A avaliação da Certificação LEED é realizada por meio de pré-requisitos (condições mínimas) e pontos (créditos) outorgados nas categorias: Sustentabilidade do Espaço, Racionalização do Uso da Água, Eficiência Energética, Qualidade Ambiental Interna, Materiais e Recursos, Inovação e Processos de Projeto e Créditos Regionais.

Dependendo dos pontos obtidos a construção poderá ser certificada como:

Certificação (*Certified*): 40-49 pontos

Prata (*Silver*): 50-59 pontos

Ouro (*Gold*): 60-79 pontos

Platina (*Platinum*): de 80 pontos em diante.

Atualmente o GBC Brasil disponibiliza diferentes tipos de certificados LEED, adaptados para cada tipo de prédio:

- LEED NC – Novas construções e grandes projetos de renovação
- LEED ND – Desenvolvimento de bairro (localidades)
- LEED CS – Projetos da envoltória e parte central do edifício
- LEED Retail NC e CI – Lojas de varejo
- LEED Healthcare – Unidades de saúde
- LEED EB_OM – Operação de manutenção de edifícios existentes
- LEED Schools – Escolas
- LEED CI – Projetos de interiores e edifícios comerciais

De todas estas categorias, a Escola Politécnica da UFBA enquadra-se em “Existing Buildings – Operation and Maintenance” (LEED para Edifícios Existentes- Operação e Manutenção). O certificado LEED para esta categoria está focado na eficiência operacional e manutenção de um edifício já existente, e tem como critério de concessão maximizar a eficiência da operação e minimizar custos e impacto ao meio ambiente.

O aproveitamento de águas pluviais na EP-UFBA possui o potencial de reduzir em 50% o consumo de água total do prédio e em 100% o consumo de água potável destinado a paisagismo (rega de jardins) e as plantas piloto dos laboratórios. A água de chuva captada e reservada seria distribuída em grande parte por gravidade até os pontos de consumo, o que supõe um diferencial com respeito a outros sistemas de aproveitamento pluvial.

Por outro lado, dotar à EP-UFBA com um sistema deste tipo apresenta uma vantagem didática (cursos de engenharia sanitária e ambiental, civil, automação...). Este impacto positivo foi inserido na categoria “Créditos Regionais: Prioridades Ambientais Específicas da Região Metropolitana de Salvador” sob o nome “Educação ambiental e impacto didático na região e nos estudantes de engenharia” com peso de 1 ponto.

No total, a instalação de um sistema de aproveitamento pluvial com estas características provocaria um acréscimo de 19 pontos na avaliação da EP-UFBA para conseguir um certificado LEED.

Ainda, aproveitando este projeto para substituir o telhado de fibrocimento com uma cobertura vegetal do tipo “teto verde”, seria obtido mais um ponto devido à satisfação do quesito “Espaço Sustentável: Redução das Ilhas de Calor – Coberturas”, totalizando 20 pontos. E no caso desta análise ser realizada por um profissional com credenciação LEED, soma-se mais um ponto até chegar a um total de 21.

A seguir, a Tabela 1 mostra esta análise, de acordo com o sistema de avaliação LEED vigente no Brasil (LEED para Prédios Existentes: Pontuação do projeto, da Green Building Council do Brasil, 2009).

Tabela 1: Avaliação do potencial de contribuição do sistema de aproveitamento pluvial proposto na obtenção de créditos para obter um certificado LEED.

Máximo de pontos: 110 pontos	
<i>Certified</i> : 40-49 pontos; <i>Silver</i> : 50-59 pontos; <i>Gold</i> : 60-79 pontos; <i>Platinum</i> : ≥80 pontos	
<u>Espaço Sustentável (total 26 Pontos possíveis)</u>	<u>2 pontos</u>
Plano de Manutenção Integrado p/ Controle de Pestes, Erosão e Paisagismo	1 ponto
Gestão da Quantidade do Escoamento Superficial	1 ponto
<u>Uso Racional da Água (total 26 Pontos possíveis)</u>	<u>13 pontos</u>
Redução do Consumo de Água Potável	Pré-Requisito
Medição da Performance da Água: Medição de todo o edifício + Medição segregada do edifício	2 pontos
Redução Consumo de Água Potável: Redução em 30%	5 pontos
Paisagismo com uso eficiente: Redução em 100%	5 pontos
Gestão da Torre de Resfriamento: Uso de água não-potável	1 ponto
<u>Créditos Regionais: Prioridades Ambientais Específicas da Região Metropolitana de Salvador (total 4 pontos)</u>	<u>4 pontos</u>
Redução do consumo de água	1 ponto
Redução do consumo de energia	1 ponto
Redução da problemática da drenagem urbana	1 ponto
Educação ambiental e impacto didático na região e nos estudantes de engenharia	1 ponto
<u>TOTAL DA CONTRIBUIÇÃO – APROVEITAMENTO PLUVIAL</u>	<u>19 pontos</u>

Fonte: Green Building Council do Brasil, 2009.

Selo Casa Azul – Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável

Figura 10. Selo Casa Azul com suas categorias bronze, prata e ouro.



No Brasil, este é outro sistema de avaliação existente, similar ao LEED, embora criado pela entidade bancária CAIXA.

O Selo se aplica a todos os tipos de projetos de empreendimentos habitacionais apresentados à CAIXA para financiamento ou nos programas de repasse, e pelo momento é unicamente voluntário, sendo o benefício para o destinatário do selo o reconhecimento na eficiência, ambiental e de uso de recursos, do projeto. Apresenta três níveis de gradação: Bronze, Prata e Ouro. Os projetos de empreendimentos que receberem o Selo poderão fazer o uso da logomarca em material publicitário de venda das unidades, e após a conclusão das obras, os empreendimentos poderão instalar placa metálica, divulgando o nível de gradação do Selo atingido pelo projeto (Caixa Econômica Federal, 2010).

No sistema de avaliação “Selo Casa Azul”, as águas pluviais aparecem nos critérios de Existência de Áreas Permeáveis (critério obrigatório), Aproveitamento de Águas Pluviais, Retenção de Águas Pluviais e Infiltração de Águas Pluviais.

O Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais proposto pelo “Selo Casa Azul”, deverá apresentar redução mínima de 10% no consumo de água potável do prédio. Deverá conformar um sistema totalmente independente do sistema de água potável e possuir um plano de gestão, recomendando-se o monitoramento e a análise da qualidade da água.

Benefícios econômicos decorrentes da obtenção de certificação LEED, Casa Azul ou da futura Certificação Municipal de Sustentabilidade: Tributação reduzida ou “IPTU Verde”

Em primeiro lugar, estes selos estão certificando que a operação do prédio durante toda sua vida útil será muito mais econômica, em termos de consumo de água e energia.

A obtenção destas certificações, além do reconhecimento social, e o benefício publicitário no caso de um empreendimento imobiliário, podem supor um benefício adicional: um regime de tributação reduzida. Este regime de tributação reduzida consiste em um desconto sobre o valor do IPTU - Imposto Predial e Territorial Urbano, que deve ser pago a cada mês. Este desconto está sendo impulsionado pelas próprias entidades municipais, as quais além da consciência ambiental tem interesse em que o maior número possível de prédios façam uso racional da água e energia (reduzindo assim o pico de demanda das cidades), gerem áreas permeáveis que reduzam os efeitos das enchentes, e não gerem ilhas de calor. Estes benefícios urbanos bem justificam uma redução do IPTU arrecadado, ou pelo menos assim pensam umas prefeituras, ainda poucas no país.

Este benefício tributário não se aplicaria no prédio estudado, a EP-UFBA, por se tratar de um prédio universitário propriedade do Estado e, por tanto, com imunidade tributária. Embora, pode ser um incentivo decisivo em grandes superfícies privadas (prédios comerciais, supermercados, etc) até o ponto em que a redução no valor do IPTU justifique *per se* a adoção de pequenos sistemas simples de águas pluviais de baixo investimento. O gerente desta superfície comercial, no caso de um prédio já existente, começará a conferir os benefícios deste tipo de sistemas (economia nas despesas de água, reconhecimento como empresa ambientalmente correta). No caso de um novo empreendimento, a tributação reduzida durante todo o horizonte do projeto será um importante valor acrescentado e como tal poderá ser publicitado.

Em Salvador, o sistema de tributação reduzida denomina-se popularmente “IPTU Verde” e consiste num desconto de 10% no IPTU para imóveis construídos no padrão de construção ambiental. O Projeto de Indicação nº 209/2011 do vereador Paulo Câmara deu origem à Lei Nº 8.474/2013. O IPTU Verde está em fase de regulamentação, tarefa que está a cargo da Secretaria de Cidade Sustentável. Esta Secretaria tem a pretensão de criar uma Certificação Municipal de Sustentabilidade, estabelecendo critérios que permitirão a classificação dos imóveis em dois níveis, com descontos de 5% e 10% no imposto, a depender da pontuação atingida (CMS, 2013).

2.2 – BENEFÍCIOS DO ÚSO DA ÁGUA DE CHUVA EM SALVADOR

2.2.1 REDUÇÃO DA PRESSÃO SOBRE OS MANANCIAIS TRADICIONAIS

Tradicionalmente, o contínuo incremento da demanda de água nos centros urbanos tem sido encarado mediante um incremento proporcional da pressão sobre os mananciais que os abastecem.

Ao se desenvolverem estes centros urbanos, esta pressão pode atingir o limite dos recursos hídricos da região circundante.

Este processo de contínuo crescimento urbanístico, quando não vem acompanhado de um aumento na eficiência do uso da água, conduz inevitavelmente a uma situação de impasse na qual a oferta de água da região não consegue mais dar conta da demanda.

O processo segue padrões bem definidos, que não tem variado muito desde que milênios atrás os engenheiros da antiguidade projetavam aquedutos para trazer água desde regiões situadas a dezenas de quilômetros da cidade.

Inicialmente a cidade se desenvolve sobre um local com abastecimento de água garantido. A cidade começa a crescer, horizontalmente (sobre terras de uso agropecuário ou resquícios de florestas naturais) e verticalmente (com verticalização das construções e aumento na densidade da população de uma área previamente urbanizada).

Chegado o momento os mananciais tradicionais tornam-se insuficientes. Nos nossos dias, os primeiros sintomas costumam aparecer após a ocupação de novos loteamentos em áreas de expansão, ou em períodos de férias em que aumenta a população flutuante (caso típico de cidades turísticas).

Problemas de pressão baixa ou desabastecimento durante algumas horas do dia em setores da cidade podem ser os primeiros indicadores de que o equilíbrio hídrico da zona atingiu seu limite. Outro indicador pode ser a perda da qualidade da água captada para o abastecimento, decorrente de cursos d'água poluídos ou mananciais subterrâneos salinizados. O primeiro caso é comum em cidades com saneamento deficiente. O segundo é próprio de cidades costeiras que ao retirar uma quantidade excessiva de água doce de seus aquíferos pode-se provocar a inutilização destes devido à infiltração de água do mar.

Diante deste panorama, os moradores e os vetores da economia local começam a pressionar às autoridades, pois sem um abastecimento contínuo de água de qualidade a cidade não pode continuar a crescer. Em outras cidades, a ocorrência de um período de estiagem prolongado pode acelerar este processo: este é o caso de vários municípios da Bahia que, em 2013, receberam verbas de emergência para abastecimento de água mediante carros-pipa e construção de novas adutoras (BAHIA, 2013).

Chegado o ponto de esgotamento dos recursos hídricos locais, a solução proposta para o problema da intermitência no fornecimento será, inevitavelmente, uma grande obra de saneamento (tipicamente composta de barragens de acumulação, estações de bombeamento e adutoras) que importará recursos hídricos das regiões próximas para o foco da demanda.

Além do elevado custo da infra-estrutura necessária, é gasta uma importante quantidade de energia para movimentar esta água que precisa ser trazida cada vez de mais longe.

Outro inconveniente de importar água desde regiões afastadas do ponto de demanda são as perdas de água por vazamento, que aumentam com o comprimento da adutora. A Região Metropolitana de Salvador enquadra-se perfeitamente no caso antes descrito. Na atualidade importa 60% da água que consome desde a barragem de Pedra do Cavalo, situado em uma região distante 110 km.

A EMBASA, empresa responsável pela gerência e manutenção do sistema de distribuição de água na cidade de Salvador, tem um índice de perdas na rede de 37,1% (SNSA, 2010). Isto quer dizer que por cada 100 m³ consumidos, foram necessários captar, potabilizar e recalcar pelo menos (pois as perdas referem-se só à distribuição) 137m³ provenientes dos mananciais que suprem à cidade. Esses 37 m³ perdidos vazam pelas conexões e tubulações de distribuição, e infiltram-se de novo para o sub-solo.

O “Estudo de Aproveitamento dos Mananciais de Salvador – Estudo de Demandas” apresentado no Plano Municipal de Saneamento Básico (Prefeitura de Salvador, 2010) considera umas perdas totais de água de 43,3% no sistema de abastecimento da RMS. A previsão da demanda, crítica para a planificação do sistema, considera a evolução da população (residente e flutuante) assim como um horizonte de redução deste índice de perdas devido a uma melhora na operação e na eficiência do sistema. Para se projetar a evolução do consumo per capita médio ao longo do horizonte 2008-2030, calculou-se primeiramente o consumo per capita médio ponderado em 2008, utilizando-se como fatores de ponderação os percentuais da população da cidade em cada faixa de renda: A (4,59%), B (17,68%) e C (77,73%). A população flutuante é considerada como classe B. Este consumo per capita é depois acrescentado pelo volume de perdas (decrecente desde um 46,1% em 2008 até um 35,0% em

2030). A previsão resultante da demanda de água na RMS é (Tabela 2):

Tabela 2: Projeção da demanda urbana d'água em Salvador.

Ano	Perdas	Demanda da População Residente		Demanda da População Flutuante		Demanda total	
		Per capita	Q média	Per capita	Q média	Q média	Q máxima diária
		(L/hab·dia)	(L/s)	(L/hab·dia)	(L/s)	(L/s)	(L/s)
2008	46,10%	317,07	10.759,49	424,86	884,35	11.643,84	13.972,61
2009	45,53%	313,73	10.792,28	420,39	892,54	11.684,82	14.021,79
2010	44,96%	310,50	10.829,26	416,06	901,03	11.730,28	14.076,34
2011	44,40%	307,38	10.846,09	411,87	909,80	11.755,89	14.107,06
2012	43,85%	304,35	10.866,94	407,82	918,86	11.785,80	14.142,96
2013	43,30%	301,46	10.891,76	403,90	928,22	11.819,99	14.183,98
2014	42,76%	298,59	10.920,53	400,09	937,87	11.858,41	14.230,09
2015	42,23%	295,84	10.953,23	396,41	947,82	11.901,05	14.281,26
2016	41,71%	293,17	10.967,65	392,84	958,06	11.925,71	14.310,85
2017	41,19%	290,58	10.986,49	389,37	968,60	11.955,09	14.346,11
2018	40,67%	288,07	11.009,83	386,01	979,44	11.989,27	14.387,12
2019	40,17%	285,63	11.037,78	382,74	990,58	12.028,36	14.434,03
2020	39,67%	283,27	11.070,47	379,57	1.002,02	12.072,48	14.486,98
2021	39,17%	280,97	11.079,67	376,49	1.013,76	12.093,43	14.512,12
2022	38,69%	278,74	11.094,70	373,50	1.025,81	12.120,52	14.544,62
2023	38,21%	276,56	11.115,89	370,59	1.038,18	12.154,07	14.584,88
2024	37,73%	274,45	11.143,63	367,76	1.050,85	12.194,49	14.633,39
2025	37,26%	272,40	11.178,39	365,01	1.063,85	12.242,24	14.690,69
2026	36,80%	270,40	11.187,00	362,33	1.077,17	12.264,17	14.717,00
2027	36,34%	268,46	11.201,78	359,72	1.090,81	12.292,59	14.751,11
2028	35,89%	266,56	11.223,07	357,18	1.104,78	12.327,85	14.793,42

2029	35,44%	264,72	11.251,23	354,71	1.119,09	12.370,32	14.844,38
2030	35,00%	262,92	11.286,71	352,31	1.133,72	12.420,43	14.904,52

Fonte: “Estudo de Aproveitamento dos Mananciais de Salvador – Estudo de Demandas” do Plano Municipal de Saneamento Básico (SALVADOR, 2010).

O aumento da demanda previsto pela Prefeitura de Salvador é de um 7% no período 2008-2030. Embora, dois fatores poderiam provocar uma aumento maior do esperado:

1. Um aumento da mobilidade social unido à continuação do período de crescimento econômico que a cidade está experimentando. A sociedade brasileira, com uma das mais desiguais divisões de renda do mundo, está experimentando um aumento da sua classe média (classe B). Esta tendência pode continuar, com parte da classe C (77% do total de Salvador em 2008) melhorando seus níveis de vida e consequentemente seu consumo per capita de água. Os consumos per capita são 352 litros/hab·dia para a classe A, 229 litros/hab·dia para a classe B e 147 litros/hab·dia para a classe C. Um horizonte com um maior peso da classe B e menor da classe C poderia ser mais provável. Por exemplo, se no ano de 2030 a distribuição da população segundo seus níveis de renda fosse 5% A, 35% B e 60% C, a demanda média em 2030 seria de 13.414 lps. Isto iria supor um aumento no consumo de água da cidade de 15,2% em vez de 7% previsto pela Prefeitura.

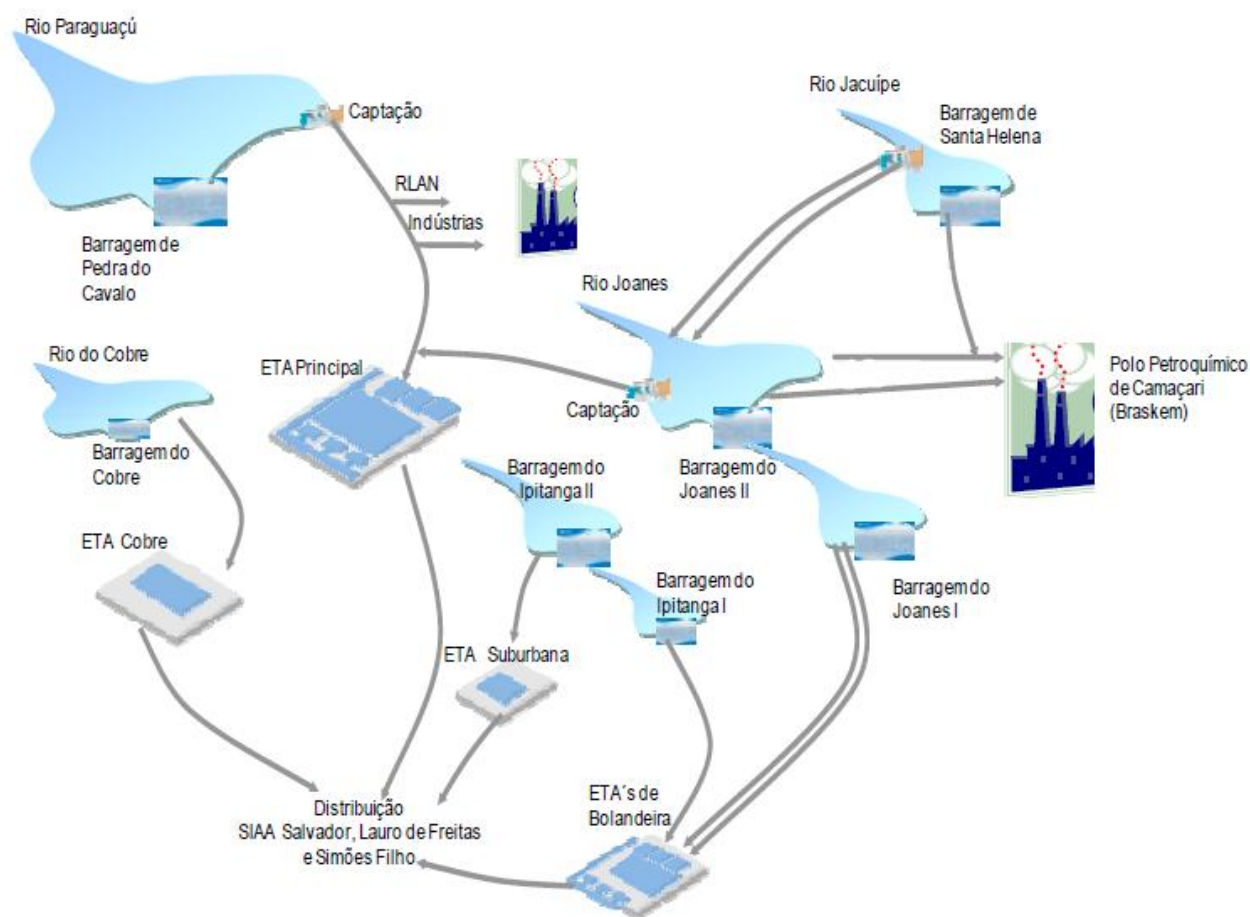
2. A redução de perdas neste período poderia ser inferior da considerada devido, por exemplo, a um investimento insuficiente na rede de saneamento da cidade.

Os mananciais da RMS estão destinados a sofrer uma maior pressão devido ao aumento da demanda de água. Minimizar esta pressão, sem importar água de outras regiões, só é possível mediante a redução de perdas físicas da rede e a efficientização do uso da água na cidade: reúso de águas cinzas e industriais, aproveitamento de águas pluviais, conscientização da população e combate ao desperdício. Que percentagem da demanda de água da cidade poderia ser satisfeita com água de qualidade inferior à potável? Diante do contexto apresentado, é razoável pensar em aproveitar água de chuva captada na cidade para satisfazer parte da sua demanda?

Para o caso da cidade de Salvador, o 60% da água consumida é trazida desde a barragem de Pedra de Cavalo (Rio Paraguaçu), a 110 km de distância, e o restante é captado nos mananciais da Região Metropolitana. Os principais mananciais de superfície dentro da Região Metropolitana de

Salvador são o Rio Joanes, Rio do Cobre, Rio Ipitanga e Rio Jacuípe, responsáveis pelo fornecimento de 40% da água consumida. O esquema deste Sistema Integrado de Abastecimento de Água (SIAA) é apresentado na Figura 11.

Figura 11. Esquema do sistema de abastecimento de água da RMS.



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico. SALVADOR, 2010.

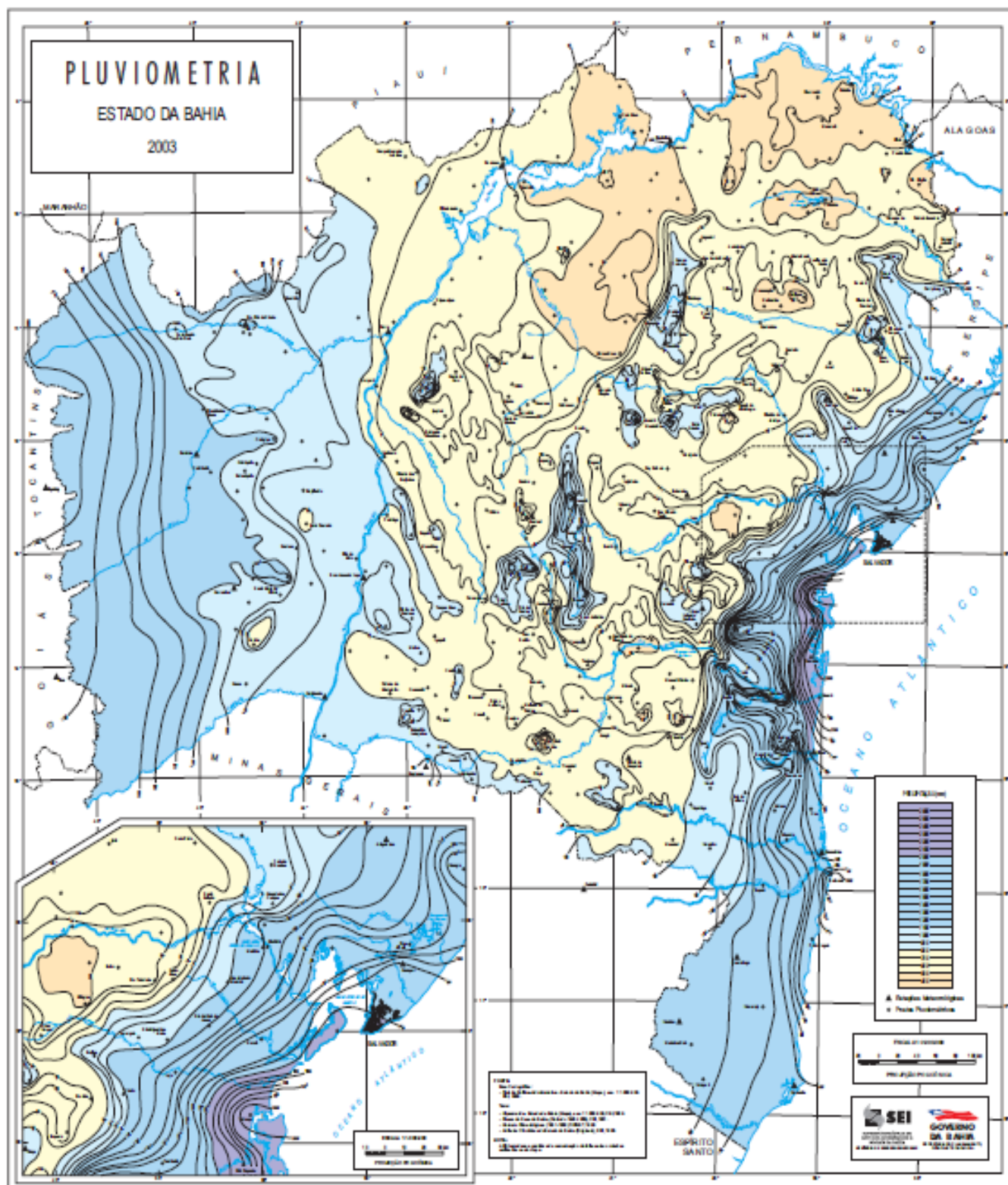
Estes mananciais estão sendo impactados por atividades resultantes de expansão urbana e pelo uso desordenado do solo, com ocupações sem a devida infra-estrutura em saneamento ambiental. Os problemas de lançamento de esgotos domésticos e de desmatamento são comuns em todos estes mananciais. Outros problemas são lançamento de pó de brita das pedreiras (no Rio Ipitanga) e impacto de atividades agrícolas e pecuárias (Rio Joanes e Paraguaçu). Na barragem Pedra do Cavalo (Rio Paraguaçu) o aproveitamento hidrelétrico conflita com sua utilização para abastecimento público de água.

No caso da cidade de Salvador, a situação é paradoxal devido a que esta importação de água realizada é realizada desde uma região que possui um índice pluviométrico menor que a faixa litoral onde Salvador está localizada. Assim, este rio atravessa uma região semi-árida com precipitações anuais entre (600 a 1000) mm frente aos quase 2000 mm de Salvador. Além de abastecer à Grande Salvador, a citada barragem é responsável pelo abastecimento de grande parte da água consumida na região do Recôncavo Baiano e na cidade de Feira de Santana (848 mm anuais).

Portanto, a maior parte do abastecimento de água de Salvador é realizada mediante a transferência de recursos hídricos desde uma região mais seca, e distante mais de 100 km.

O mapa, mostrado na página seguinte, ilustra esta situação, apresentando as isoietas (curvas que delimitam uma área com igual precipitação) do Estado da Bahia (Figura 12).

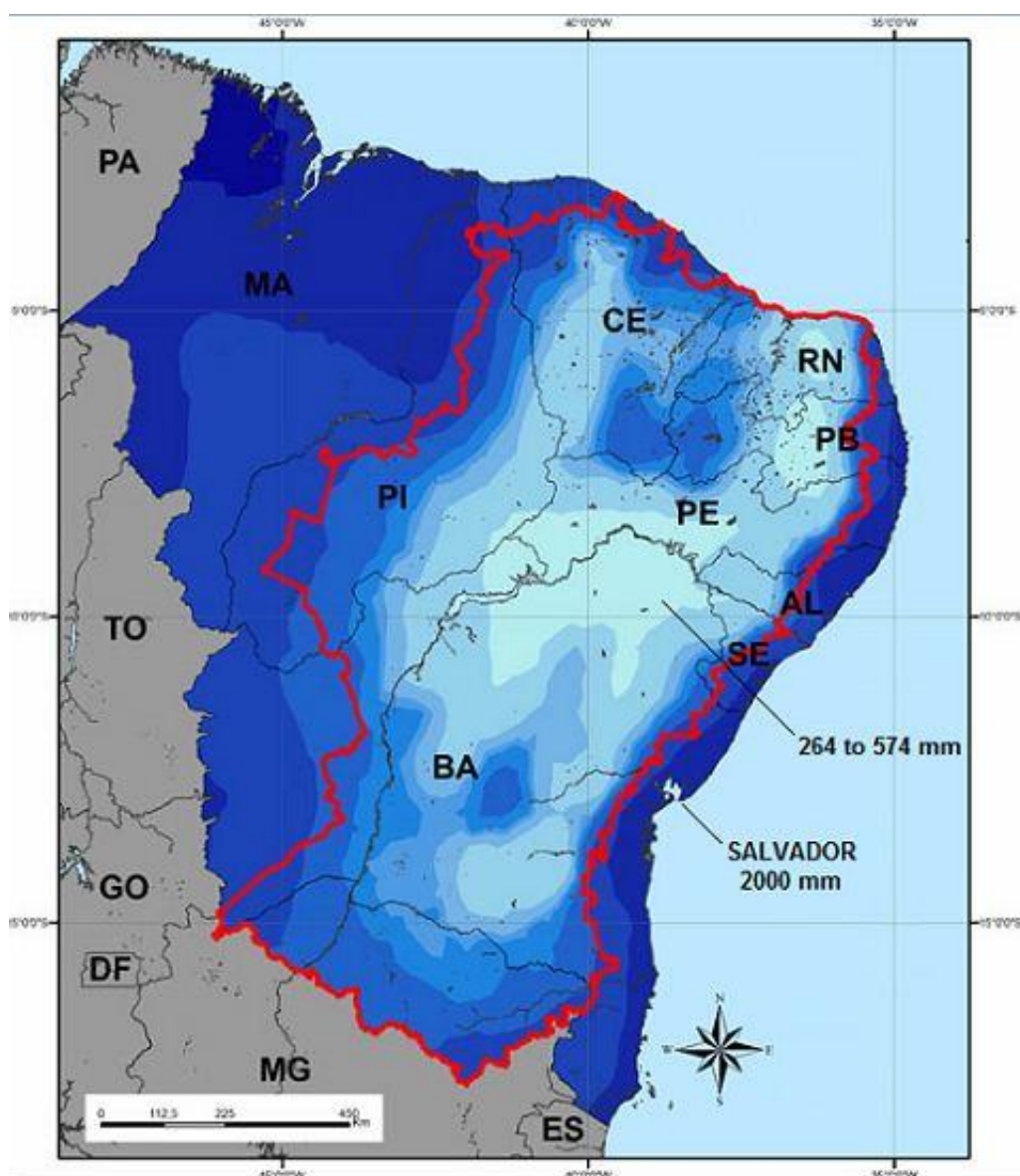
Figura 12. Mapa de pluviometria, Estado da Bahia.



Fonte: BAHIA, 2003

Por outra parte, ao contemplar um mapa da Região Semi-Árida do Brasil como o apresentado na Figura 13, podemos observar uma faixa litorânea de uma largura média de 100 km, a qual se estende desde o Sul do Estado da Bahia até o Estado de Rio Grande do Norte. Nesta faixa é válido o razoamento anterior. Assim, uma grande quantidade de municípios desta faixa (assim como as Regiões Metropolitanas de Salvador e Recife) captam parte da água que consomem de rios cujas cabeceiras estão situadas na Região Semi-Árida, ao mesmo tempo que desfrutam dos elevados índices pluviométricos típicos desta zona costeira.

Figura 13. Mapa da Região Semi-Árida do Brasil (circundada numa linha vermelha).



A cor azul indica o a precipitação anual (azul intenso: mais chuva ; azul claro: menos chuva)

Os mapas apresentados (Figura 12 e Figura 13) ilustram a disponibilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Paraguaçu, principal manancial da RMS. Esta bacia está situada numa região catalogada dentro do “Polígono das Secas” (lei de 7 de janeiro de 1936), também denominada “Semi-Árido Brasileiro” (delimitação de 2005) se bem não é uma das áreas mais críticas deste Polígono por se tratar de uma região fronteira, de transição para a faixa litoral úmida. A delimitação do Semi-Árido Brasileiro baseia-se em três critérios técnicos (BRASIL, 2005):

- I. Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros;
- II. Índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relacionadas precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e
- III. Risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Assim, seguindo estas três premissas, o Semi-Árido Brasileiro está formado na atualidade por 1.133 municípios, com uma população de 20.858.264 pessoas, e uma área de 969.589,4 km². O Estado da Bahia tem o 63,9% da sua superfície inserida na Região Semi-Árida.

O trabalho “Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro”(INSA, 2011) descreve esta região da seguinte forma:

“No Brasil, o espaço geográfico mais vulnerável aos efeitos da desertificação e das mudanças climáticas é a Região Semi-Árida. Caracterizada pelas elevadas médias anuais de temperatura (27 °C) e evaporação (2.000 mm), com precipitações pluviométricas de até 800 mm ao ano, concentradas em três a cinco meses e irregularmente distribuídas no tempo e no espaço. No geral, o solo é raso, com localizados afloramentos de rocha e chão pedregoso. Decorre da combinação desses elementos um balanço hídrico negativo em grande parte do ano, presença de rios e riachos intermitentes e ocorrência de secas periódicas e avassaladoras.”

Os mapas anteriormente apresentados mostram a RMS enquadrada dentro de uma faixa litorânea estreita e comprida, úmida, fronteira com um interior semi-árido. Qual será a evolução mais provável das precipitações nas próximas décadas? É de esperar um aumento na quantidade de chuva recebida pela RMS, e uma expansão desta faixa úmida para o interior, ou pelo contrário uma progressiva transformação da faixa litorânea em região de clima semi-árido?

Analisando a pluviosidade das últimas décadas, vários autores apontam para um aumento da frequência e da duração dos períodos de estiagem no Nordeste do Brasil.

Lacerda (2010) revela que, para o período de 1961 a 2009, foram registradas um aumento de 4 °C na temperatura máxima diária na estação meteorológica de Araripina-PE, e uma diminuição média de 275 mm (correspondendo a 57%) da precipitação anual no conjunto de oito postos pluviométricos do vale do rio Pajeú, em Pernambuco. Este estudo também revela que a diminuição anual das chuvas esteve acompanhada do aumento dos períodos máximos de estiagem e do aumento da frequência de eventos de precipitação intensa (superior a 50 mm em 24 horas), o que constituem sinais de que processos de aridificação estão em curso nestas áreas do interior de Pernambuco.

Embora trabalhos mais significativos sobre mudanças climáticas no Estado da Bahia tem surgido como consequência da aplicação de modelos computacionais recentes, os quais permitem prever a evolução de variáveis climáticas num amplo horizonte de tempo. Dentre estas variáveis, destacam a temperatura e a precipitação. Estes modelos podem ser particularizados para as distintas áreas geográficas da Terra. Posteriormente, podem ser calculados os efeitos das mudanças climáticas simuladas sobre os recursos hídricos das regiões, usando por exemplo os modelos chuva-vazão das bacias hidrográficas, já conhecidos e testados experimentalmente.

O Hadley Center, no Reino Unido (Met Office Hadley Centre for Climate Change), é um centro de pesquisa em mudanças climáticas de reconhecido prestígio internacional. Este centro realizou simulações do clima com o modelo atmosférico regional HadRM3P aninhado no modelo global HadAM3. Em 2007, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) utilizou este modelo para detalhar os cenários de mudança do clima futuro para a América do Sul. A particularização para o Estado da Bahia dos resultados do modelo HadRM3P, disponibilizados pelo CPTEC/INPE, foi investigada por Tanajura et al. (2010) no trabalho “Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente do HADRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070-2100”.

Nesse trabalho, foram comparados os resultados do modelo HadRM3P com dados diários observados por uma rede de 29 estações meteorológicas do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

Essas simulações sobre o Estado da Bahia indicaram a redução da precipitação anual e o aumento da temperatura média do ar em todo o Estado para um horizonte temporal que compreende até o ano 2100. As simulações apresentam cenários onde o semi-árido baiano sofre reduções de precipitação anual entre 20% e 60%, e o litoral da RMS sofre reduções de precipitação anual de cerca de 70%. No Litoral Norte da Bahia a redução seria de 80% e no Litoral Sul da Bahia, de 10%. Os

autores indicam que, como consequência destes dados, o Rio Paraguaçu (principal manancial da RMS) poderia ter uma redução de 50% até 70% das vazões.

Portanto, as conclusões deste estudo apontam para uma progressiva situação de estresse hídrico generalizado em todo o Estado da Bahia. As precipitações iriam sofrendo uma redução progressiva: este processo decorreria a maior velocidade no litoral que no interior, até chegar em 2100, no cenário mais pessimista apresentado, a uma pluviometria anual na RMS de 600 mm.

Ao ser a previsão de redução de chuvas generalizada em todo o Estado da Bahia, não parece que a RMS possua muito margem de ação para satisfazer seu crescente déficit hídrico. A quantidade de água que poderá retirar das regiões interiores do Estado irá se reduzindo progressivamente, e Salvador deverá prestar mais atenção às tecnologias que permitam o aproveitamento de mananciais locais alternativos: dessalinização de água do mar, tratamento/reúso de águas residuais urbanas e industriais e, é claro, aproveitamento de águas pluviais.

2.2.2 REDUÇÃO DE CHEIAS E INUNDAÇÕES

Além da economia de água e de energia gerada, um sistema de aproveitamento de águas pluviais realiza uma contribuição considerável na melhora da drenagem e no controle da qualidade das águas pluviais que escoam pela superfície impermeabilizada do local onde esteja instalado.

No Apêndice III é explicado com detalhamento o efeito benéfico que os reservatórios de águas pluviais, agindo como bacias de retenção, teriam sobre o controle de enchentes em ambientes urbanos. A conclusão de este apêndice é que o maior benefício estaria no controle da qualidade das águas pluviais que são despejadas nos corpos de água receptores (rios e o mar), devido à retenção das partículas contaminantes depositadas sobre as superfícies urbanas.

2.2.3 ECONOMIA DE ENERGIA ASSOCIADA À REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA TRATADA

No Apêndice IV são apresentados cálculos detalhados do indicador energético kWh/m³ para a água potável consumida na Região Metropolitana de Salvador: calculou-se um valor de 1,147 kWh por m³ de água potável. Este é o custo energético de captar, tratar e recalcar água bruta até o ponto de entrega (alimentador predial) dos consumidores finais na cidade de Salvador. Adicionando mais 0,352 kWh por m³ de água pluvial retirado da rede de esgoto (que deverá ser tratado nas ETEs), chega-se a um valor total do indicador energético de 1,499 kWh/m³.

A este valor deve ser adicionado a energia gasta pelo consumidor final no próprio prédio, devido ao bombeamento desde o reservatório inferior para o superior.

O custo da energia do bombeamento predial impacta diretamente nas despesas de energia pagas pelo consumidor final. No caso da Escola Politécnica da UFBA, calculou-se um consumo energético de 0,371 kWh por m³ de água consumida no prédio. O valor desta energia supõe 3,1% do valor total da água consumida.

Desta forma, o valor da energia gasta no bombeamento predial pode ser acrescentado ao valor do m³ de água paga à concessionária, gerando mediante a soma destes dois valores o custo real da água consumida no prédio.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

Além de centros universitários e de ensino, a metodologia proposta é adequada para grandes conjuntos prediais administrativos, hospitais, aeroportos, *shopping-centers*, e outros prédios comerciais e industriais. Estes edifícios de grande porte, grandes consumidores de água da rede, tem interesse em reduzir ao mínimo necessário as despesas gastas com água. Após a conscientização dos usuários, o monitoramento do consumo e a pesquisa de vazamentos, o passo além nesta direção é contemplar o uso da água de chuva e de outros mananciais alternativos (reuso, água de poço) para aqueles usos que não requeiram água de qualidade potável.

Há uma tendência dos prédios que estão sendo projetados na atualidade a considerarem o uso eficiente dos recursos (água, energia, ciclo de vida dos materiais). Os clientes e futuros usuários já valorizam e demandam prédios projetados para fazer um uso eficiente de água e energia. As motivações são econômicas, ambientais e recentemente legais, como é o caso da normativa de alguns municípios.

Embora, os prédios antigos, que não foram projetados sob estas premissas, também podem se beneficiar da instalação de novos sistemas hidráulicos que, com poucas reformas e intervenções no sistema existente, podem causar reduções dramáticas na conta de água. A metodologia proposta está focada neste tipo de prédios.

Propõe-se uma metodologia de trabalho que começa com duas linhas de atuação em paralelo: cadastro do sistema hidráulico e de drenagem do prédio e captação de dados para caracterizar o consumo de água do prédio de forma quantitativa (curva sazonal de demanda) e qualitativa (determinar que usos não requerem água de qualidade potável, e que percentagem do consumo total de água representam).

Estas pesquisas preliminares indicaram as possibilidades de instalar um sistema de aproveitamento de chuva no prédio. Uma vez identificado um certo potencial, pode-se continuar para as fases de concepção do sistema, e da determinação da viabilidade técnica e econômica. Durante esta fase, é indispensável a consulta de plantas (*as-built* se possível) assim como a realização de vistorias às instalações do prédio. A depender da antiguidade do prédio, este pode ter passado por diferentes reformas que tenham alterado materiais e caminhamento de tubulações. Além da consulta de plantas, e da pesquisa de campo (inspeção direta) pode ser de utilidade realizar entrevistas com a equipe de manutenção do prédio que podem ter acompanhado a evolução das instalações do prédio. O objetivo destas vistorias deve ser: cadastrar o sistema hidráulico do prédio (rede de distribuição e drenagem), calhas e estruturas de drenagem que possam ser aproveitadas, assim como identificar as superfícies de captação e os possíveis locais para situar os elementos do futuro sistema de aproveitamento de chuva. Um exemplo da aplicação desta metodologia encontra-se no Apêndice I desta dissertação.

Uma vez em posse destas informações, o passo seguinte é a concepção de um sistema de captação, reserva e distribuição de água de chuva que atenda as necessidades identificadas no prédio. Esta concepção do projeto deve chegar a um certo nível de detalhamento (cálculos hidráulicos e orçamento) para permitir realizar uma estimativa de custos realista. O orçamento final deve estar expressado em função de uma variável ainda não definida: o volume de reserva de água de chuva do sistema. Tipicamente, esta variável incide com um grande peso no valor do orçamento final.

Durante esta fase, várias decisões devem ser tomadas para permitir elaborar o projeto: definir as superfícies de captação, se é necessário recalque da água de chuva, quais os pontos consumidores de água não potável que serão abastecidos, se será necessário algum tipo de tratamento da água de chuva para satisfazer os usos pretendidos e por último, definir os locais onde serão situados os tanques de *first flush* e de reserva, que deverão possuir um sistema de extravasamento que atenda a normativa de drenagem de águas pluviais.

Por outro lado, para caracterizar a curva de demanda sazonal, podem ser usados registros diários da leitura direta do hidrômetro principal de entrada das instalações (hidrômetro volumétrico

com precisão de $\pm 5\%$). Esta série histórica com as leituras diárias do hidrômetro principal pode ser utilizada como base para modelar a curva de demanda sazonal (que outorga a cada mês do ano um valor da demanda diária média, m^3/dia). Os métodos para a modelagem desta curva propostos nesta dissertação são três: média aritmética, redes neurais, e lógica *fuzzy*. Um exemplo da aplicação desta metodologia encontra-se no Apêndice II desta dissertação.

Uma vez em posse da curva de demanda sazonal do prédio, usa-se uma base de dados pluviométricos do local onde está situado o prédio para determinar o volume de água de chuva aproveitada em função de diferentes volumes de reserva total. A quantidade de água de chuva que será efetivamente aproveitada no prédio dependerá da demanda e da pluviometria em cada mês, da área de captação total, dos coeficientes de escoamento destas áreas, e do volume total dos tanques de reserva que agem como intermediários entre a chuva captada e a demanda de água, que na maioria das vezes não são coincidentes no tempo.

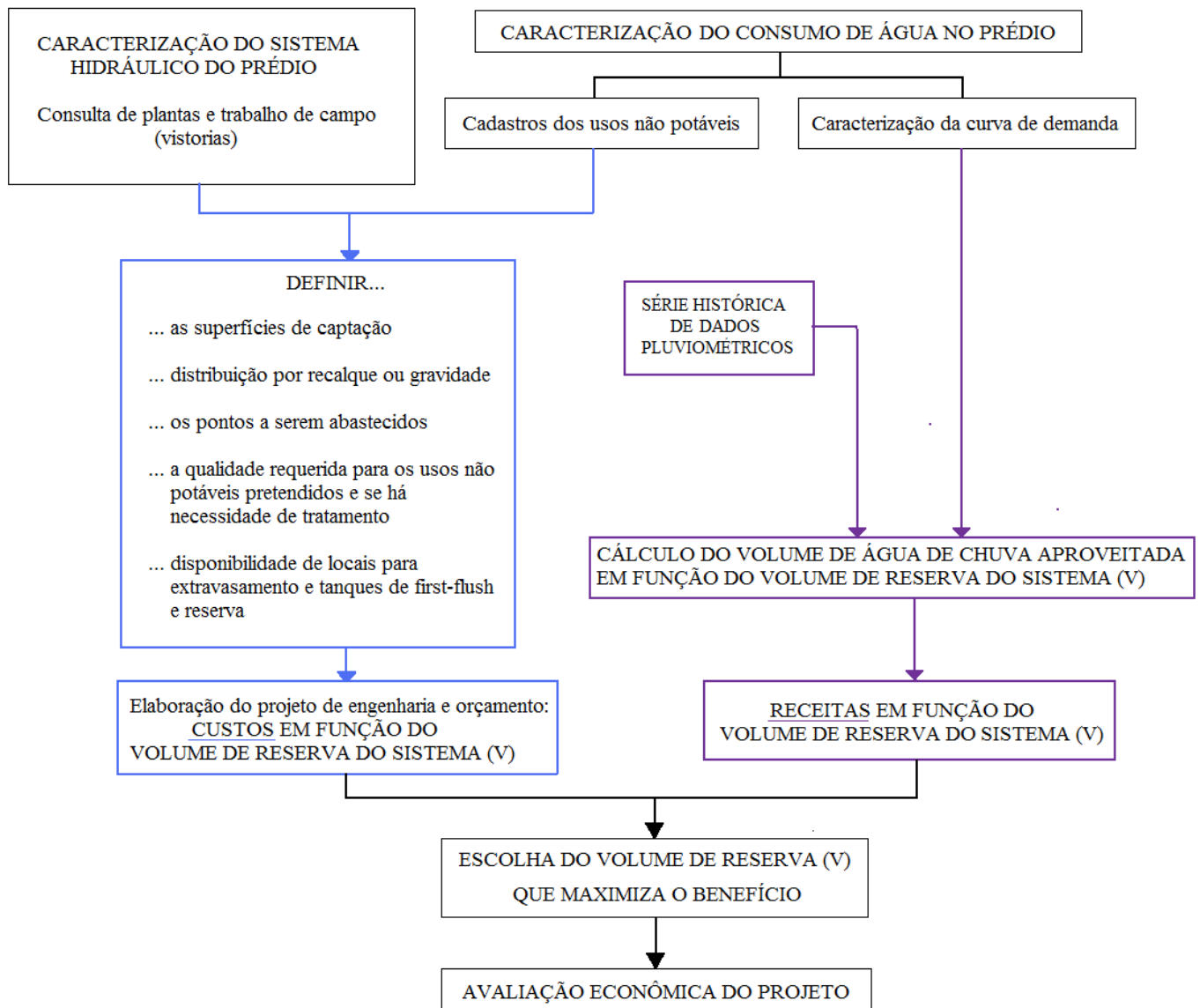
O objetivo de calcular o volume de água de chuva aproveitada para cada mês, em função do volume de reserva total do sistema (variável ainda não definida) é conseguir expressar também em função desta variável as receitas (economia gerada pela substituição de água potável da rede por água de chuva). Neste cálculo, pode-se considerar a tarifa de água constante ou prever seu aumento em base à evolução da tarifa durante os últimos anos.

Uma vez calculado os custos e receitas em função da variável “volume de reserva”, são expressados em valor presente (para tal tem que se definir uma vida útil do projeto e uma taxa de juros). Desta forma, é possível aplicar um critério econômico para definir o volume de reserva do sistema: escolhe-se aquele que maximiza o benefício do projeto (receitas menos custos).

Finalmente, uma vez definido o volume de reserva, o cálculo dos custos, receitas e benefício do projeto é imediato. Podem ser aplicados então os indicadores de viabilidade econômica que expressarão a rentabilidade do projeto.

A seguir, a Figura 14 ilustra a metodologia proposta.

Figura 14. Fluxograma representando a metodologia seguida.



Um elemento critico neste esquema é o cálculo do volume de água de chuva que será efetivamente aproveitada no prédio, para um determinado volume de reserva, a partir das bases de dados pluviométricos e de demanda de água no prédio. Por esta razão, é abordada a seguir uma revisão de diferentes métodos disponíveis para este cálculo.

Métodos para dimensionamento do sistema (cálculo do volume de reserva) e posterior avaliação da quantidade de água de chuva que seria aproveitada

A metodologia tradicional que é seguida para avaliar a quantidade de água de chuva que seria coletada numa determinada área de captação consiste em multiplicar essa área vezes um coeficiente que varia entre 0 (toda a água que cai na superfície escoar para fora dela, evapora-se ou permeia através dela sem ser coletada) e 1 (caso de superfícies impermeáveis, sem evaporação), e vezes a precipitação média na localidade onde o prédio está situado, (eq 1):

$$V(m^3) = R \cdot 10^{-3} \cdot A(m^2) \cdot P(mm)$$

eq 1 : metodologia tradicional para o cálculo do volume de água de chuva coletado, onde:

- $R \in [0,1]$ = coeficiente de escoamento da superfície de captação, também denominado coeficiente de deflúvio, ou de aproveitamento.
- A = área de captação (m^2)
- P = precipitação (mm)

Por se tratar de um evento meteorológico e por tanto dependente de muitas variáveis, a quantidade e frequência das chuvas considera-se um fenômeno aleatório, embora com uma oscilação sazonal definida. É recorrente o uso da variável “precipitação média mensal”, para ter uma estimativa da quantidade de chuva que irão receber as áreas de captação a cada mês.

Dados pluviométricos são monitorados por redes de estações meteorológicas automáticas espalhadas pelo país, e por várias instituições públicas e privadas, gerando uma ampla base de dados que se remonta, em algumas localidades, a quase cem anos. Apoiados nestas bases de dados, modelos de previsão de chuvas são usados em agricultura, controle de enchentes e inundações, ou pelos operadores do sistema elétrico (armazenamento de energia em reservatórios de usinas hidrelétricas).

No contexto de sistemas de aproveitamento pluvial em prédios, procuram-se valores de precipitação média mensal na base de dados da estação pluviométrica mais próxima possível, e ajusta-se a capacidade de reserva a estes valores. Com uma correta manutenção e cloração, a água reservada pode permanecer disponível para ser usada durante meses. Embora, esta metodologia conduz na maioria das vezes a reservatórios sobre-dimensionados.

O correto dimensionamento dos reservatórios de água de chuva é uma peça fundamental de qualquer projeto de aproveitamento pluvial, já que o custo destes costuma ser a maior parte do investimento inicial necessário.

O conhecimento da frequência e quantidade de água coletada caracteriza a entrada do sistema, enquanto o estudo da variação temporal da demanda que será necessário abastecer caracteriza a saída do nosso sistema. Da adequação da capacidade de reserva à demanda efetiva do prédio dependerá o quanto de eficiente e rentável será o sistema de aproveitamento pluvial que está sendo projetado.

Assim, por meio da modelagem da curva de demanda de água para usos não potáveis, e da aplicação de uma metodologia de análise estatística de dados, viabilizam-se dois objetivos:

- Otimização do tamanho dos reservatórios de água de chuva. Por uma parte, o projeto final resulta mais barato. Por outra, a quantidade de água de chuva disponível nos reservatórios acompanha de um modo eficiente à variação da demanda de usos não potáveis de água no prédio, ficando garantido o máximo abastecimento possível destes.
- O estudo de viabilidade econômica e retorno do investimento fica mais confiável. Ao aumentar a qualidade desta análise, e do projeto final, reduz-se a resistência dos investidores numa tecnologia rentável embora cujo uso ainda não está generalizado no nosso país.

A Norma Internacional de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais expressa o anterior com estas palavras:

“ O tamanho ótimo dos reservatórios de águas pluviais deve apresentar uma relação balanceada entre o regime pluvial e os requerimentos de água dos processos. Para tanto, são significativos os seguintes fatores:

- Quantidade e características do regime local de precipitações.
- Tipologia e tamanho das áreas de captação.
- Requerimentos, quantitativos e qualitativos, dos processos que demandem água. ”

(DIN 1989-1:2001-10, 2001)

O problema de dimensionar a capacidade de reserva de um sistema de aproveitamento pluvial possui como parâmetros de entrada a pluviometria do local e a demanda de água do prédio ou conjunto de prédios que este sistema visa atender. O potencial de atendimento da demanda do prédio dependerá do ajuste entre a captação de água de chuva (definida pela pluviometria, área de captação e coeficiente de deflúvio) e a demanda a atender.

Procura-se o volume ótimo que produz um máximo aproveitamento da água captada,

minimizando o extravassamento. Ainda, levando em conta que os reservatórios costumam ser os elementos mais onerosos de um sistema de aproveitamento pluvial, a escolha do volume total de reserva vem determinada por um critério econômico, que maximiza o lucro do sistema inclusive em detrimento do máximo atendimento. O projetista encontra-se muitas vezes com uma situação típica na qual a partir de uma determinada capacidade de reserva, os custos de aumentar o volume de reserva (materiais, manutenção) não compensam as receitas decorrentes do incremento de atendimento que esse volume produz.

Vários métodos de cálculo podem auxiliar ao projetista na determinação do volume de água de chuva que seria efetivamente aproveitado, para cada volume de reserva considerado.

Lee et al. (2000) propôs um modelo probabilístico para o dimensionamento da capacidade de reserva, considerando o caráter estocástico (evento aleatório) da chuva.

Anneccchini et al. (2006) compararam o Método de Rippl com o Método Comportamental (PAE). O cálculo da capacidade do reservatório também foi estudado por Mierzwa et al. (2007) e Ghisi et al. (2007). Neste último trabalho, foram observadas capacidades típicas para sistemas de aproveitamento de água de chuva no SE do Brasil (entre 2 e 20 m³) e potenciais médios de atendimento de 41% da demanda total de água nos prédios dessa região.

A Norma Brasileira ABNT NBR 15527:2007 "Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos" (ABNT, 2007) oferece até seis métodos de cálculo para dimensionamento dos reservatórios: Método de Rippl, Método da simulação, Método prático Brasileiro ou Método Azevedo Neto, Método prático Alemão, Método prático Inglês, e Método prático Australiano.

Cohim et al. (2008) estudaram o dimensionamento de reservatórios mediante os métodos de Rippl, maior período de estiagem, métodos empíricos (Brasileiro, Alemão e Inglês) e um modelo computacional, enquanto Dornelles et al. (2010) avaliaram o desempenho dos métodos citados na NBR 15527 junto do denominado "método do número de dias consecutivos sem chuva" (maior período de estiagem). Inclusive, os métodos de dimensionamento da NBR 15527 tem sido comparados com normativas municipais que visam regular o aproveitamento de chuva (BEZERRA et al, 2010).

Amorim e Pereira (2008) e Rupp et al. (2011) também compararam os métodos de dimensionamento do reservatório de água pluvial sugeridos na NBR 15527, desta vez junto do programa computacional Netuno 3.0 desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em

Edificações (Universidade Federal de Santa Catarina). O algoritmo deste programa foi previamente validado por Rocha (2009) visando a determinação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de água de chuva em edificações. Devido à versatilidade deste programa, é aplicável em prédios de distinta tipologia, desde moradias unifamiliares, grandes prédios (como no caso desta dissertação) e inclusive postos de combustível (GHISI et al. 2009). Os parâmetros que influenciam o problema de dimensionamento foram estudados usando este método computacional por Ghisi (2010).

Moruzzi e Oliveira (2010) aplicaram o programa computacional REZZ para o dimensionamento do volume de reserva. Este programa pode usar alternativamente o Método Rippl, Método de análise da simulação, Método Azevedo Neto, e os Métodos Práticos. Neste trabalho, os autores consideraram outros programas computacionais existentes, projetados especificamente para o sistemas de aproveitamento pluvial: o SimTanka, desenvolvido na Índia pela Ajit Foundation, e o Domestic Roofwater Harvesting Programme, desenvolvido pela Universidade de Warwick, Reino Unido.

Khastagir e Jayasuriya (2010) também estudaram a determinação do volume ótimo de reservatórios de água de chuva, com a finalidade de desenvolver uma ferramenta interativa, baseada na web.

Finalmente, Imteaz et al. (2011a, 2011b) oferecem avaliam métodos de dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água de chuva, focando em casos de estudo e no conceito de confiabilidade no atendimento. Desta forma, para a cidade australiana de Melbourne, afirmam que um sistema com uma área de captação de 150–300 m² e um volume de reserva de entre 5 e 10 m³ oferece um nível de confiabilidade no atendimento da demanda de quase 100% para uma moradia de 2 pessoas.

No seguinte capítulo, será aplicada a metodologia proposta num prédio existente, de grande porte. Após o estudo das características do prédio, seu sistema hidráulico e de drenagem pluvial, serão propostos dois sistemas alternativos de captação, reserva e distribuição de água de chuva, viáveis técnica e economicamente. Seguindo esta metodologia, bases de dados pluviométricos do local e de demanda de água do prédio serão consultados para calcular o volume de água de chuva que seria aproveitado para diferentes volumes de reserva. Para este cálculo será usado o programa Netuno 4.0. Finalmente, mediante um critério econômico, será escolhido o volume de reserva de água de chuva que maximize o benefício econômico do sistema.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA NA ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR – UFBA

4.1 AJUSTE ENTRE DEMANDA E DADOS PLUVIOMÉTRICOS PARA CALCULAR O VOLUME DE ÁGUA DE CHUVA APROVEITADA EM FUNÇÃO DO VOLUME DE RESERVA (V)

4.2 CÁLCULO DOS CUSTOS E DAS RECEITAS EM FUNÇÃO DO VOLUME DE RESERVA (V)

4.3 ESCOLHA DO VOLUME DE RESERVA DO SISTEMA

4.4 CÁLCULO DOS INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÓMICA

Neste capítulo a metodologia apresentada de forma genérica para prédios existentes de grande porte será particularizada para a Escola Politécnica de Salvador, prédio que reúne estas características.

Seguindo a metodologia apresentada, numa fase inicial é preciso identificar as características da edificação mediante consulta de plantas e trabalho de campo (vistoria do local e das instalações) para realizar uma análise preliminar do potencial do prédio para ser equipado com um sistema de aproveitamento pluvial. No Apêndice I - “Sistema hidrosanitário e de drenagem pluvial da EP-UFBA” é apresentada uma descrição destes sistemas, junto da avaliação das potenciais superfícies de captação.

As superfícies de captação são telhados de fibro-cimento que oferecem um coeficiente de aproveitamento (deflúvio) que oscila entre os valores de 0,9 para os dias de elevada frequência e duração dos eventos de chuva e de 0,6 para os dias com chuvas de pouca intensidade, nos quais aumentam as perdas de água por evapotranspiração. Para este projeto será usado um coeficiente de $R=0,8$ e uma área total de captação de $A = 2.000,00 \text{ m}^2$.

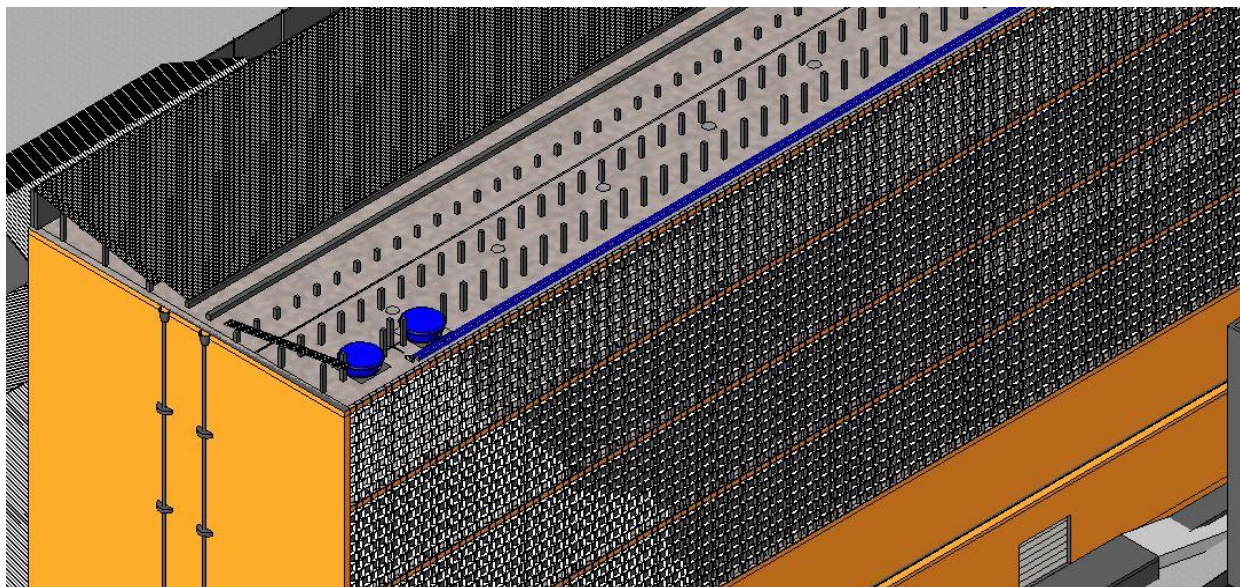
Após uma análise dos locais, instalações e características do prédio, é proposto um sistema consistente em caixas de água interligadas, de 1 m^3 de volume cada, localizadas na laje embaixo do telhado. Mediante duas bombas de pequeno porte a água captada é recalçada até um reservatório de distribuição localizado numa cota 4 metros superior, junto ao reservatório de água potável existente. Esta configuração oferece uma fácil inserção no sistema hidráulico e de drenagem existente no prédio, fácil distribuição por gravidade até os pontos a serem abastecidos, fácil extravasamento do excedente aproveitando o sistema de drenagem existente, e disponibilidade de locais adequados para os tanques de *first-flush* e reserva. A instalação de caixas de água de 1 m^3 (peso de 1050 kg) na cobertura, sobre as colunas que dão suporte ao prédio, permite a ampliação da capacidade de reserva do sistema sem sobrecarregar a estrutura.

Também considerou-se um sistema alternativo que visa atender toda a demanda de água do prédio mediante água de chuva, sem a instalação uma rede secundária de água não potável, e com tratamento localizado naqueles pontos finais de consumo que precisarem (fins potáveis). É proposto um sistema destas características configurado como uma evolução natural daquele anteriormente descrito: capta-se a água do telhado do prédio principal, a qual é recalçada para o reservatório superior já existente, e propõe-se o sistema de caixas d’água interligadas descrito para o caso de querer ampliar a capacidade de reserva.

Na Figura 15, mostra-se esquematicamente o sistema de captação proposto, idêntico para os dois sistemas: em ambos os casos a água de chuva é conduzida para caixas d’água interligadas,

localizadas imediatamente embaixo dos telhados e apoiadas na laje superior do prédio. Estas caixas d'água agem como tanques de *first-flush* e módulos de reserva adicional de 1 m³. Duas bombas recalcam a água captada para um reservatório de distribuição 4 metros por cima esta laje.

Figura 15: Esquema do sistema de captação e reserva proposto.



Após definidos estes dois possíveis sistemas, é calculado o volume de água economizado em cada caso, por ano, em função do volume de reserva. Para este cálculo é usado um programa informático de cálculo, que considera a demanda de água do prédio e os dados pluviométricos do local.

Seguidamente, o volume de reserva final para cada um dos dois sistemas é calculado mediante um critério econômico que considera como ótimo o volume que maximiza o benefício, considerando uma vida útil do projeto de 30 anos.

Finalmente, uma vez definido o volume de reserva, são calculados indicadores de viabilidade econômica do projeto: relação custo/benefício, taxa interna de retorno e tempo de retorno do capital.

4.1 AJUSTE ENTRE DEMANDA E DADOS PLUVIOMÉTRICOS PARA CALCULAR O VOLUME DE ÁGUA DE CHUVA APROVEITADA EM FUNÇÃO DO VOLUME DE RESERVA (V)

Base de dados pluviométricos locais

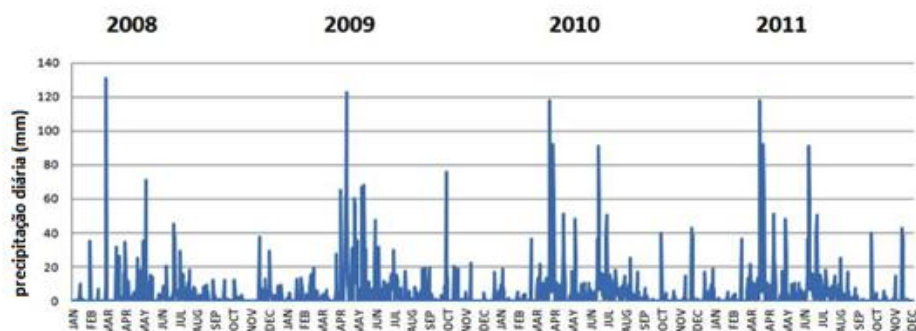
Para analisar a viabilidade de um projeto de aproveitamento pluvial, é de máxima importância contar com uma base de dados pluviométricos confiáveis. Esta base de dados deverá ter suficiente abrangência temporal, e ao mesmo tempo os dados deverão ter sido coletados nas proximidades do local.

Desde este ponto de vista, a Escola Politécnica da UFBA está localizada num área privilegiada, devido a que a 400 m dela está situada a Estação Meteorológica de Ondina, a qual pertence à Rede de Estações do Instituto Nacional de Meteorologia. – INMET.

Dentre outros parâmetros meteorológicos, esta estação registra a precipitação diária (somatório da precipitação de todos os eventos de chuva acontecidos durante o dia) mediante um pluviômetro, medindo o resultado em milímetros (mm), com uma precisão de $\pm 5\%$.

Para ilustrar a tipologia das chuvas no local onde está situado o prédio, apresenta-se a seguir um gráfico que mostra os valores de precipitação diária registrados num período de 4 anos consecutivos (Figura 16).

Figura 16. Precipitação diária registrada durante os anos 2008 a 2011.



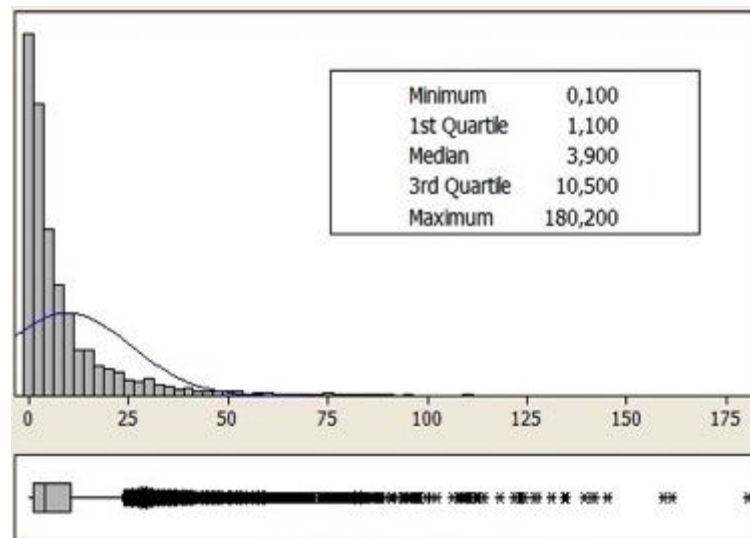
Fonte: Estação meteorológica de Ondina, Salvador (INMET, 2013).

No período dos 4 anos mostrados na figura anterior a maior precipitação diária foi de 132 mm por dia. Estas grandes chuvas (mais de 80 mm em 24h) acontecem com uma frequência de 2 ou 3 vezes por ano, de preferência no trimestre de Março-Abril-Maio.

A maior frequência de chuvas corresponde ao range de 1 mm a 11 mm. Observa-se também uma boa distribuição das chuvas ao longo do ano, com presença de quantidades razoáveis de precipitação (até 10 mm por dia) nos meses menos chuvosos (Setembro a Fevereiro).

O histograma apresentado na Figura 17, classifica os dias de chuva registrados entre 1963 e 2013 em função da sua precipitação, e ilustra a tipologia das chuvas no local: precipitações de até 10,5 mm em 24h possuem uma frequência de ocorrência de 75%.

Figura 17. Histograma de precipitação diária durante 1963-2013.



Fonte: Estação meteorológica de Ondina, Salvador (INMET, 2013).

O valor médio registrado na série histórica foi de 3,9 mm por dia de chuva. A maior quantidade de chuva registrada num período de 24h foi de 180,2 mm e a menor 0,1 mm (que é a resolução mínima do pluviômetro). Os valores médios registrados foram de 15,0 mm por dia de chuva (para o mês de Maio, estatisticamente o mais chuvoso) e 7,0 mm (para o mês de Setembro).

O conjunto total de amostras compreende a precipitação registrada por dia, desde Janeiro de 1961 até Agosto de 2013. São no total 15.019 valores de precipitação diária. Esta série histórica de dados compreende um tempo suficiente (mais de 50 anos) para realizar análises de pluviometria.

Base de dados de demanda de água do prédio

Para caracterizar a curva de demanda sazonal da EP-UFBA (variação da demanda mês a mês, ao longo do ano) foram usadas as leituras do hidrômetro principal do prédio (hidrômetro volumétrico com precisão de $\pm 5\%$), as quais são registradas diariamente no Sistema Aguapura ViaNet que monitora o consumo de água e energia vários prédios públicos no Estado da Bahia, dentre os quais a Escola Politécnica de Salvador. Esta base de dados de demanda é relativamente recente (os últimos 8 anos) e durante este período foi influenciada pela ocorrência de eventos aleatórios: greves de funcionários, eventos, construção, que alteraram em parte a forma periódica da curva. Com tudo, conseguiu-se quantificar e caracterizar a variação anual da demanda de água deste centro universitário. Foram elaborados três modelos desta curva: média aritmética, redes neurais, e lógica *fuzzy*. Ainda, para

caracterizar a curva de demanda diária da EP-UFBA, foi instalado um medidor de nível com data-logger no reservatório superior do prédio.

No Apêndice II.1 – “Perfis de consumo de água no prédio: modelagem da curva de demanda” foi analisada a variação sazonal da curva de demanda de água do prédio, a qual oscila ao longo do ano em torno de um valor médio de 17 m³/dia. Os três métodos usados para modelar esta curva (média aritmética, redes neurais e lógica *fuzzy*) apresentaram dois períodos de consumo elevado (20 m³/dia), correspondentes aos dois semestres acadêmicos, seguidos de dois períodos de baixo consumo (15 m³/dia) correspondentes aos dois recessos anuais.

Para caracterizar a percentagem da demanda de água do prédio que é destinada a fins não potáveis, é preciso realizar um balanço hídrico entre o consumo total medido pelo hidrômetro de entrada, e o consumo dos diferentes setores. A medição setorizada do consumo de água do prédio só é possível para os setores que contam com hidrômetro (um laboratório, uma cantina, uma copa e os banheiros do 4º e 7º andar do prédio). Desta forma, foi necessário realizar uma pesquisa de campo, com cadastro dos equipamentos e processos consumidores de água e entrevistas com funcionários, equipe de limpeza e manutenção, operários e responsáveis dos departamentos, laboratórios e plantas piloto. No Apêndice II.2 – “Cadastro de usos não potáveis de água no prédio” ilustra-se esta pesquisa, mediante a qual foi estimada em 60% a percentagem da demanda total de água que é destinada para fins não potáveis.

Cenários de atendimento da demanda considerados

No Apêndice AII.2 – “Cadastro de usos não potáveis de água no prédio” foi avaliada a percentagem de água que é destinada para fins não potáveis em 60% da demanda total do prédio. Embora este seja o cenário de atendimento mais provável, serão considerados dois cenários diferentes:

Cenário 60%: Demanda de água para fins não potáveis = 60% da demanda total do prédio

Cenário 100%: Demanda de água para fins não potáveis = 100% da demanda total do prédio

E preciso ressaltar que cada cenário gera um sistema de aproveitamento de água de chuva diferente. Cada um deles possui suas características e custos particulares, embora coincidam em que

ambos são ampliáveis mediante a adição de módulos adicionais (caixas de água) de 1 m^3 .

O sistema projetado para atender 60% da demanda do prédio está baseado em caixas de água de pouca altura, interligadas, embaixo da cobertura do prédio principal. Este sistema mantém inalterado todo o sistema pré-existente de água potável do prédio, que abastece ao 40% restante da demanda. Este sistema necessita de uma rede de distribuição de água não potável, que conduz por gravidade a água de chuva até os pontos de consumo, a partir de um reservatório de distribuição. O volume mínimo de reserva necessário para o correto funcionamento deste sistema (reserva funcional) é de 9 m^3 .

Já o sistema projetado para atender 100% da demanda de água o prédio possui três características diferenciais. Primeira, não precisa de uma rede de distribuição separada da rede de água potável. Segunda, este sistema pode aproveitar o reservatório superior do prédio, em concreto e com uma capacidade de 31 m^3 . Terceira, este sistema precisa de lâmpadas UV e filtros para um tratamento da água servida localizado imediatamente a montante dos pontos de consumo para fins potáveis. O volume deste sistema é de 33 m^3 .

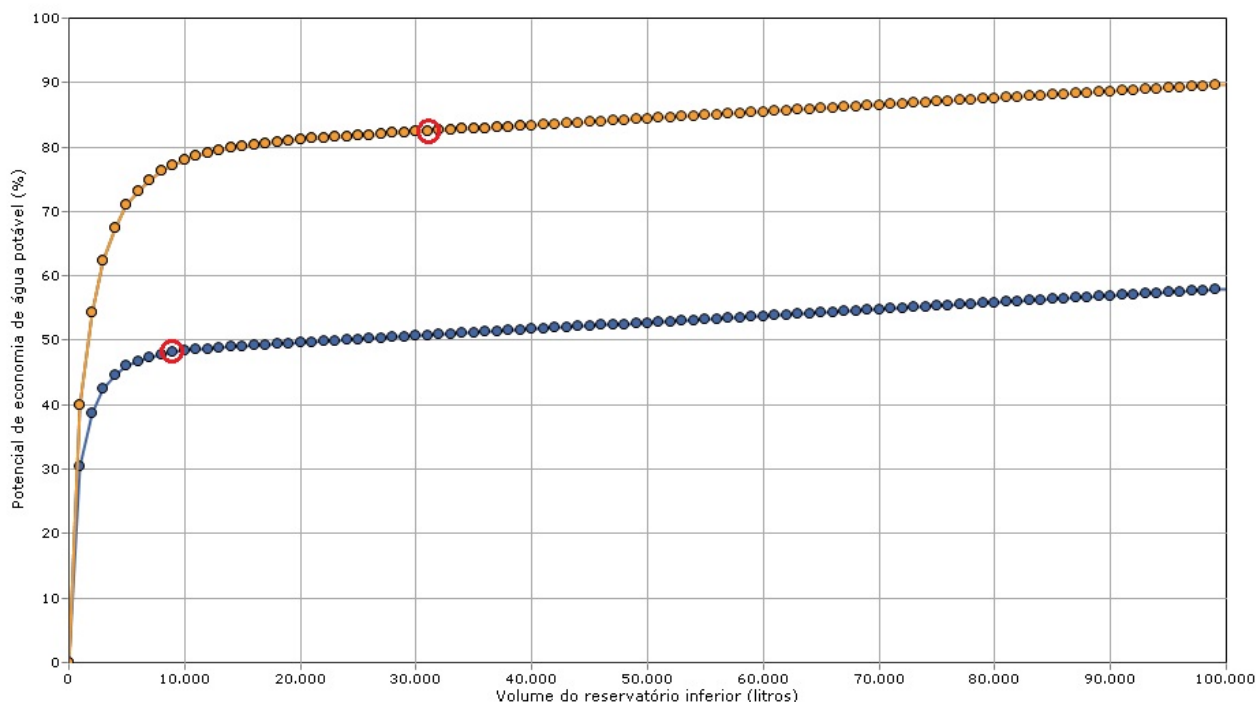
Simulação numérica mediante os programas Netuno 4.0 e Chuva8

Dentre os vários métodos e programas de cálculo disponíveis para o cálculo do volume de água de chuva disponibilizada por um sistema de aproveitamento pluvial, foram considerados: o Programa Netuno 4.0 do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC, e a planilha de cálculo Chuva8 do TECLIM – Rede de Tecnologias Limpas da Bahia.

Em ambos os casos os parâmetros da simulação foram: superfície de captação de 2000 m^2 , coeficiente de deflúvio de $C=0,8$ e os valores de precipitação da série histórica de dados consultada. Para o programa Netuno 4.0 foi considerado ainda o descarte dos primeiros 2 mm de cada evento de chuva.

O Netuno 4.0 oferece a possibilidade de inserir uma demanda de água variável, o que permite usar o modelo de curva que prevê um valor de demanda diferente para cada mês do ano, o que torna o resultado mais confiável. Adicionalmente, a simulação mediante este programa permite apresentar de forma gráfica e intuitiva o volume de água de chuva aproveitada em função do volume de reserva total do sistema (V). Na Figura 18 este volume é apresentado como uma percentagem sobre o consumo total de água do prédio, ou potencial de economia de água potável.

Figura 18: Simulação mediante o Netuno 4.0 para os sistemas do Cenário 60% (curva azul) e do Cenário 100% (curva laranja). Os círculos vermelhos indicam a reserva mínima de cada sistema.



Na simulação, o parâmetro V (volume de reserva) foi variado de 0 a 100 m³ em cada um dos sistemas (Cenário 60% e 100%). Observa-se na figura que o sistema projetado para atender 60% da demanda de água do prédio somente conseguiria este objetivo para um volume de reserva maior do que 100 m³. A melhor relação entre Volume de reserva e Demanda atendida é conseguida nos volumes iniciais, já que para 10 m³ é atingido 50% de atendimento.

Analogamente, para a curva que representa o sistema projetado para atender 100% da demanda de água do prédio, um volume de reserva de 10 m³ consegue atender 80% da demanda enquanto um volume de 100 m³ consegue atender 90%.

A simulação mediante o Programa Netuno 4.0 será a base da análise econômica destes sistemas, por oferecer um melhor ajuste entre dados pluviométricos e demanda, isto é, um valor mais exato da quantidade de água de chuva que será efetivamente aproveitada no prédio em cada mês.

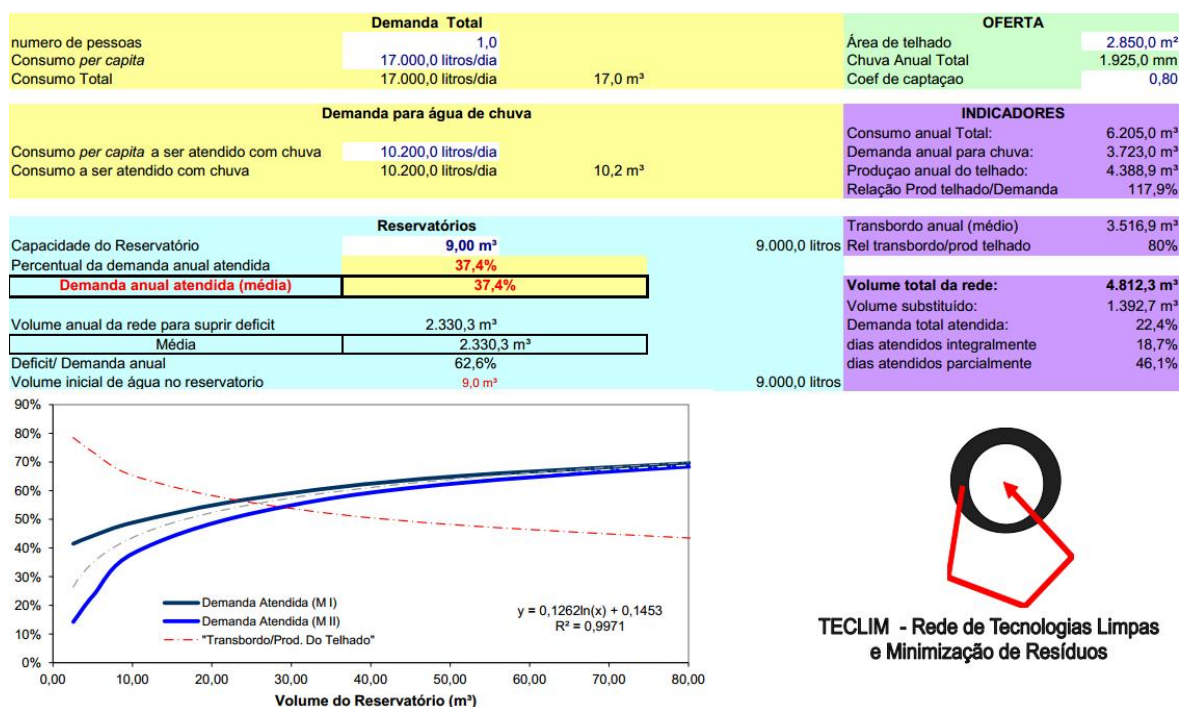
A Planilha Chuva8, diferentemente do programa Netuno 4.0, não oferece a possibilidade de estabelecer um valor de descarte inicial (*first-flush*) nem uma demanda variável com o tempo.

Esta planilha será usada, a modo de exemplo, para simular um valor concreto do volume de reserva (V=9 m³) para uma demanda fixa de água no prédio, idêntica para cada mês. Pretende-se mostrar com

este exemplo a importância de considerar na simulação uma demanda de água variável, a mais aproximada possível à demanda real, e sua influência no resultado da simulação. Para os mesmos dados pluviométricos, comprova-se que a planilha Chuva8 calcula um valor muito conservativo da quantidade de água de chuva que seria efetivamente aproveitada, quando comparada com outros métodos que oferecem um melhor ajuste demanda-chuva, como é o caso do Netuno.

Para o sistema que visa atender 60% de uma demanda fixa de 17 m³/dia (Cenário 60%) com uma reserva de V = 9 m³, a “Chuva8” calculou uma economia de 1392,7 m³ de água por ano. Esta quantidade representa 44% da calculada usando o Netuno 4.0 com um descarte inicial de 2 mm e com o modelo de demanda real do prédio, que oscila entre 15 m³/dia (Julho) e 20 m³/dia (Setembro).

Figura 19: Simulação mediante a planilha “Chuva8” do TECLIM – Rede de Tecnologias Limpas e Minimização de Resíduos da Bahia



4.2 CÁLCULO DOS CUSTOS E DAS RECEITAS EM FUNÇÃO DO VOLUME DE RESERVA (V)

Composição da função custo C(V): investimento inicial (materiais+serviços) e manutenção

No Apêndice VI da dissertação apresentam-se as Planilhas orçamentárias dos dois sistemas considerados (Cenários 60% e 100%), nas quais se detalham os custos iniciais de materiais + serviços. Estes orçamentos estão organizados de forma que consideram uma parcela de custos fixos que corresponde à implantação do sistema de tamanho mínimo possível (com o menor volume de reserva que permita o correto funcionamento do mesmo) e outra parcela diferenciada de custos variáveis em função de uma variável V que representa ampliações da capacidade de reserva do sistema mediante módulos adicionais de 1 m³. Deste modo é possível o estudo dos custos em função de um volume genérico de reserva V, ou função C(V), que devolve um custo expressado em R\$ para uma entrada da variável V em m³.

A função C(V) “custo em função do volume de reserva” considera o custo total do projeto (materiais + serviços). Este valor está quantificado pelas planilhas orçamentárias de materiais e serviços, que representam o investimento inicial no ano zero do projeto (2014), acrescentado de uma despesa adicional em cada ano do projeto decorrente da manutenção do sistema.

As despesas adicionais de manutenção são avaliadas em 5% do investimento inicial, e são aplicadas em cada ano de operação do projeto. Assim, da mesma forma que o investimento inicial depende do volume de reserva V, os custos de manutenção também são função de V, o que reflete de maneira realista os diferentes custos de manutenção para sistemas de diferente tamanho. Este acréscimo quantifica os custos dos serviços de manutenção e de reposição de peças (materiais) ao longo da vida útil do projeto.

$$C(V) = \text{custos iniciais} + 5\% \text{ anual de manutenção} = [A \cdot V + B] + [0,05 \cdot A \cdot V + 0,05 \cdot B]_{\text{a cada ano}}$$

A função custo C(V) está formada por uma parcela de custos fixos (B) e outra de custos variáveis dependentes do volume de reserva V do sistema, mais um acréscimo por manutenção a ser aplicado a cada ano.

$$\text{investimento inicial:} \quad A \cdot V + B$$

Este custo corresponde ao investimento inicial a ser realizado na fase de implantação do projeto (ano 2014). A partir do ano 2015, a cada ano incorre-se em custos operacionais quantificados em 5% do montante inicial:

$$\text{acréscimo por custos operacionais (manutenção):} \quad 0,05 \cdot A \cdot V + 0,05 \cdot B$$

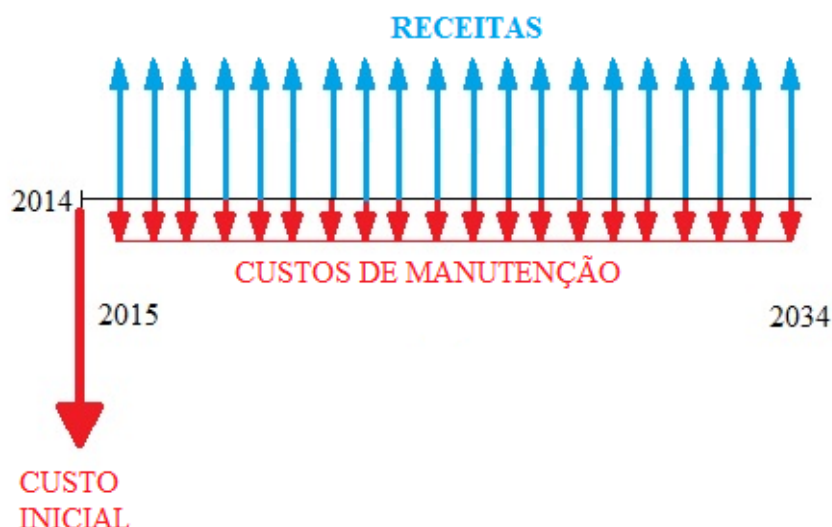
As constantes A e B adquirem distintos valores para cada um dos dois cenários estudados, segundo mostra a Tabela 3:

Tabela 3: Composição da função de custos em função do volume V de reserva.

	Cenário 60%	Cenário 100%
A (R\$/m³ de reserva)		
materiais + serviços (inicial) :	2.690,00	2.690,00
+5% manutenção (por ano):	134,50 por ano	134,50 por ano
B (R\$)		
materiais + serviços (inicial) :	49.978,00	57.752,00
+5% manutenção (por ano):	2.498,90	2.887,60
Função C(V): custos iniciais =	$2.690,00 \cdot V + 49.978,00$	$2.690,00 \cdot V + 57.752,00$
Função C(V): custos operacionais (por ano) =	$134,50 \cdot V + 2.498,90$	$134,50 \cdot V + 2.887,60$

Os custos iniciais estão expressados em valor presente (VPL 2014). Diferentemente, as despesas de manutenção são aplicadas a cada ano, e devem ser convertidas a VPL 2014 para realizar a análise econômica. Desta forma, no fluxo de caixa de cada ano teremos um componente positivo (receitas produzidas pelo valor da água economizada) e um componente negativo (custos de manutenção). A Figura 20 ilustra esta situação:

Figura 20: Composição de custos e receitas durante o horizonte de projeto (2015-2034).



Cálculo das receitas operacionais (entradas monetárias)

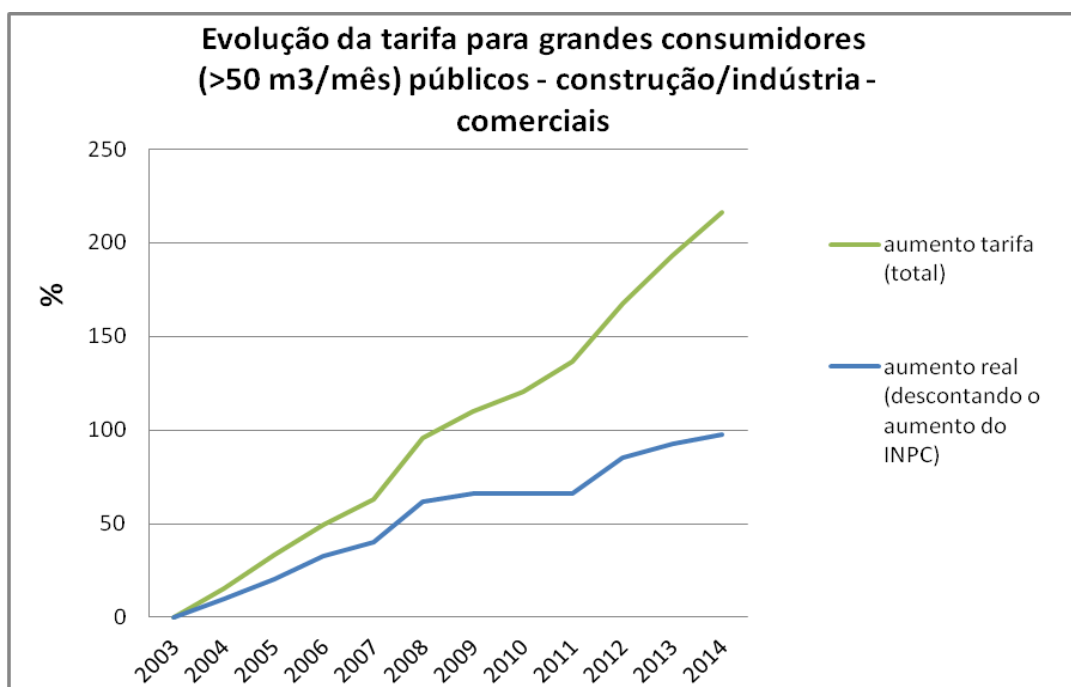
A seguir calculam-se as receitas operacionais anuais do projeto de aproveitamento de água de chuva apresentado, considerando pleno funcionamento do sistema a partir de 2015 e uma vida útil de 20 anos.

A simulação mediante o Programa Netuno 4.0 permitiu calcular o volume de água de chuva aproveitada por ano em função do volume de reserva (V). Para cada volume de reserva V, supõe-se que a quantidade de água de chuva aproveitada será idêntica em cada ano. Desta forma, após considerar que o volume de água economizada por ano será uma constante, o valor da água fica como a principal variável que influi nas receitas (entradas monetárias de cada ano do projeto). Um cálculo realista não pode considerar esta variável como fixa e acrescentar simplesmente o incremento do preço da água devido à inflação.

Consultando as tarifas da EMBASA durante os últimos 11 anos (na faixa “grandes consumidores”), comprova-se que o valor do m^3 de água incrementou-se 216% com respeito do seu valor em 2003. Para esta faixa de consumo, o valor de 1 m^3 de água tratada evoluiu de R\$ 4,95 em 2003 para R\$ 15,66 em 2014.

Descontando o aumento do INPC/IBGE (Índice Nacional de Preços ao Consumidor), o aumento real do m^3 de água para esta faixa de consumo foi de 97,7%. A Figura 21 ilustra graficamente esta situação:

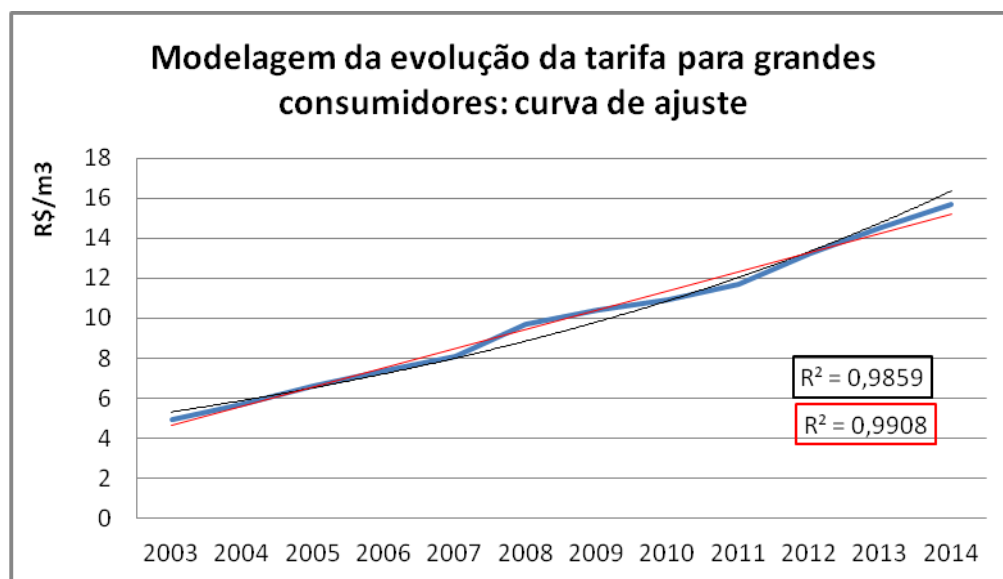
Figura 21: Evolução da tarifa para grandes consumidores
($>50 \text{ m}^3/\text{mês}$) públicos - construção/indústria - comerciais



A resultados da evolução tarifária experimentada, pode-se afirmar que a tendência é clara na direção de uma valorização do recurso água, cujo valor aumentou muito por cima da inflação. Este aumento é maior para os grandes consumidores. Para as tarifas sociais e os pequenos consumidores residenciais, o aumento resulta amortecido pelos subsídios.

A curva que melhor modela esta tendência é uma reta (ajuste com $R^2 = 0,9908$). O ajuste mediante uma curva exponencial revelou um erro maior ($R^2 = 0,9859$), como ilustra a Figura 22.

Figura 22: Linhas de tendência exponencial (cor preta) e linear (cor vermelha) para modelar a evolução da tarifa para grandes consumidores no período 2003-2014.



Os valores do m³ de água previstos para cada ano, durante todo o horizonte do projeto (2015-2034) são apresentados a seguir na Tabela 4. Estes valores foram obtidos mediante a linha de tendência linear que ajusta a evolução da tarifa registrada nos últimos 11 anos, extrapolando para os próximos 20 anos (horizonte do projeto).

Tabela 4: Valor do m³ de água economizada durante o horizonte do projeto (taxa de água + 80% esgoto)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
R\$/m³	29,32	31,06	32,80	34,54	36,28	38,02	39,76	41,50	43,24	44,98
	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
R\$/m³	46,73	48,47	50,21	51,95	53,69	55,43	57,17	58,91	60,65	62,39

Estes valores consideram o acréscimo de 80% no preço do m³ devido à tarifa de esgoto. Considera-se também um reajuste tarifário a cada ano. Ainda, supõe-se que o prédio estudado vai permanecer durante todo o horizonte do projeto (os 20 próximos anos) dentro da faixa de grandes consumidores (>50 m³/mês). Mudar de faixa de consumo supõe um desconto de 15% pelo m³ consumido, embora para isso a demanda de água do prédio deveria cair desde os atuais 500 m³/mês

para menos de 50 m³/mês. Uma redução do consumo desta magnitude está longe de ser atingida apenas mediante o projeto de aproveitamento pluvial proposto.

Embora, a previsão da evolução da tarifa que irá afetar este projeto envolve várias incertezas. Para limitá-las, este estudo considera os dois cenários mais prováveis entre os quais a tarifa estará compreendida:

“Cenário de tarifa crescente”: A evolução do valor da água registrada durante a última década (2003-2013) será projetada para os próximos 20 anos, segundo a Figura 22 e os valores da Tabela 4.

“Cenário de tarifa congelada”: Considera-se que o valor da tarifa aplicável ao prédio congela-se nos 26,154 R\$/m³ atuais (2014). Este valor será mantido constante para os próximos 20 anos.

Estes dois cenários oferecem limites superior e inferior para as receitas que irão ser produzidas a cada ano, considerado constante o volume de água de chuva aproveitada.

O seguinte passo é calcular o fluxo de caixa para cada um dos 20 anos de vida do projeto. Considera-se pleno funcionamento do projeto (início das operações) a partir de 2015, e fim das atividades em Dezembro de 2034. Para cada volume de reserva V, em cada ano haverá um fluxo de caixa positivo (receitas) que será o volume de água economizado (calculado em função de V no capítulo 4.2) vezes o valor do m³ de água (seja a tarifa congelada ou crescente).

Além destas receitas positivas, há umas receitas negativas que representam as despesas decorrentes da manutenção do sistema.

Os fluxos de caixa, positivos e negativos, devem ser expressados em preços de 2014 (valor presente das receitas), mediante a Equação 1:

$$RETORNO (2014) = \sum_{r=1}^{r=20} \frac{FC_r}{(1+i)^r} = \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots$$

Eq. 1 – Fórmula do retorno econômico de um projeto de vida útil $r = 1, \dots, 20$ anos e taxa de juros constante i

sendo:

FC_1 = fluxo de caixa do ano 1 do projeto (2015)

FC_2 = fluxo de caixa do ano 2 do projeto (2016)

...

FC_{20} = fluxo de caixa do ano 20 do projeto (2034)

a taxa de juros i , suposta constante para cada ano, com valor:

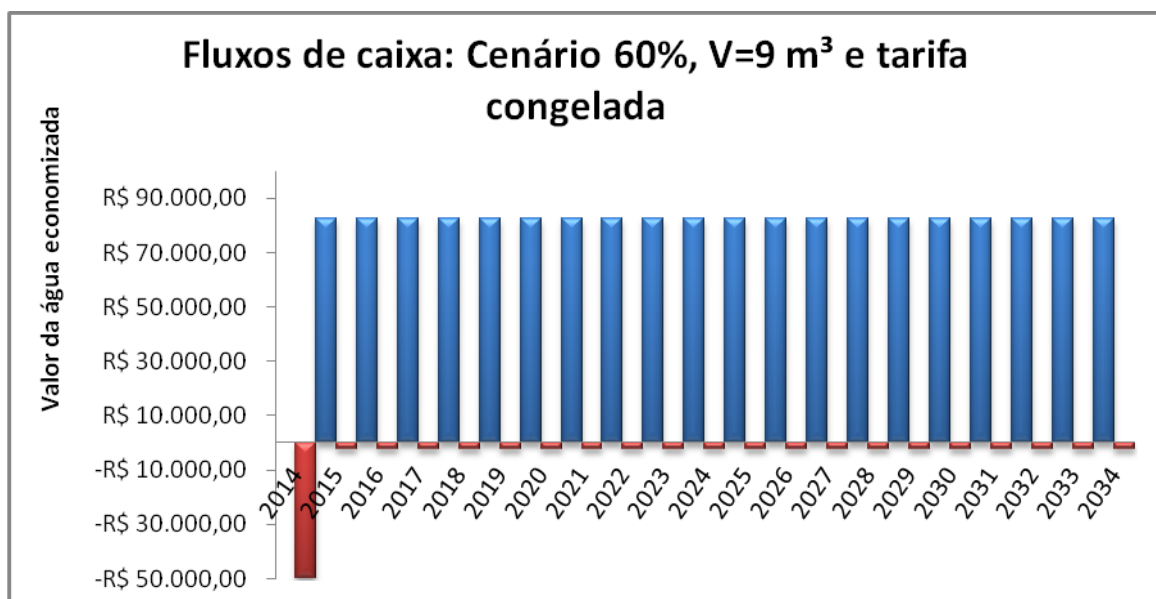
$$i = 0,12$$

Esta taxa de juros é a taxa corrente ou efetiva, que inclui a correção monetária devida à inflação.

Aplicando esta equação, a soma de valor presente dos fluxos de caixa de cada ano é calculada para cada um dos dois sistemas propostos (sistema que visa atender 60% da demanda de água do prédio ou Cenário 60%, e sistema que visa atender 100% da demanda de água do prédio ou Cenário 100%). Também são calculados considerando os dois cenários de tarifa de água: “tarifa congelada” e “tarifa crescente”.

Uma planilha eletrônica realiza os cálculos das funções $C(V)$ e $R(V)$ variando V desde os volumes mínimos de 9 m^3 (Cenário 60%) e 33 m^3 (Cenário 100%) até 100 m^3 . A modo de exemplo, a Figura 23 apresenta os fluxos de caixa calculados para cada ano, para o caso $V=9 \text{ m}^3$, sistema Cenário 60%, e tarifa “congelada”.

Figura 23: Fluxo de caixa para cada ano durante o horizonte do projeto, no caso particular de $V=9 \text{ m}^3$, Cenário 60%, tarifa “congelada”.



A soma de valor presente dos fluxos de caixa (Receitas $R(V)$ – Custos $C(V)$) representa o benefício econômico do projeto durante os 20 anos de operação.

Esta soma resulta positiva para todos os volumes de reserva considerados, desde os volumes mínimos de 9 m^3 (Cenário 60%) e 33 m^3 (Cenário 100%) até um máximo considerado de 100 m^3 . Embora, a soma de valor presente oferece um valor máximo neste intervalo de variação de V , o que permitirá escolher aquele volume que produza o melhor rendimento econômico do sistema. Obtém-se assim um critério econômico para determinar o volume de reserva do sistema.

4.3 ESCOLHA DO VOLUME DE RESERVA DO SISTEMA

O critério econômico que será usado para determinar o volume de reserva de cada um dos sistemas propostos baseia-se na escolha do volume de reserva total que maximiza o benefício. Este benefício obtém-se mediante a substituição de $V=[9,100]$ e $V=[33,100]$ nas funções custos $C(V)$ e receitas $R(V)$ para os Cenários 60% e 100%, respectivamente, e a posterior expressão destes valores no Valor Presente. As figuras 24 e 25 mostram o resultado deste processo:

Figura 24: Benefício calculado para o sistema Cenário 60%, em função do volume de reserva total adotado V .

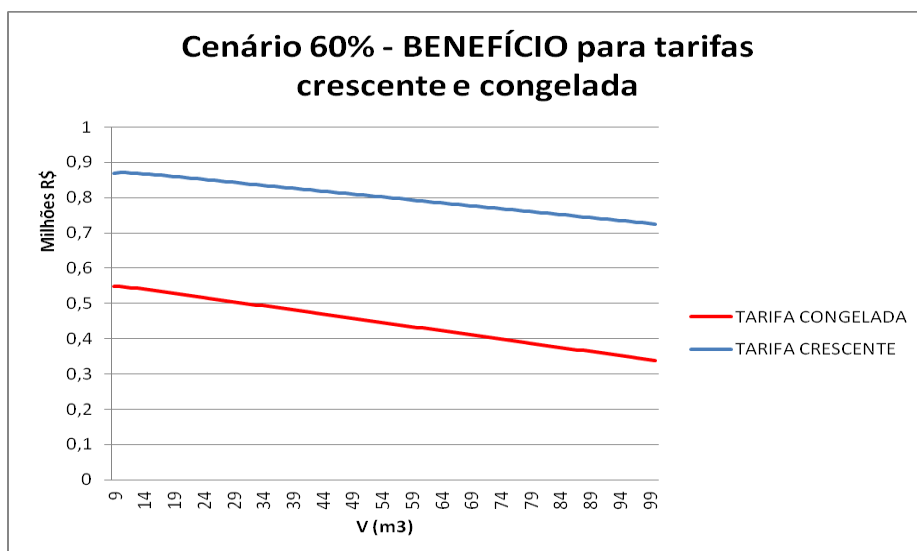
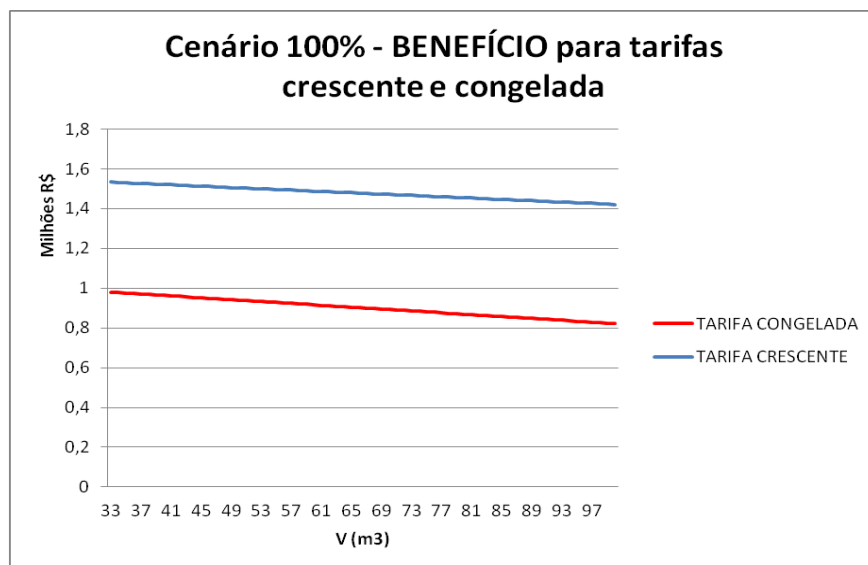


Figura 25: Benefício calculado para o sistema Cenário 100%, em função do volume de reserva total adotado V .



A primeira conclusão após observar as figuras 24 e 25 é que, se bem ambos os projetos (Cenário 60% e 100%) resultam lucrativos para qualquer volume V na faixa considerada, este benefício é maior, em ambos os casos, para o volume de reserva mínimo considerado. Portanto, seguindo o critério de maximizar o lucro do projeto, a capacidade total de reserva dos sistemas deverá ser dimensionada para $V = 9 \text{ m}^3$ ou $V=33 \text{ m}^3$, a depender de que se queira atender 60% ou 100% da demanda de água do prédio. Volumes menores não foram considerados, já que estes volumes mínimos foram definidos como aqueles necessários para o correto funcionamento do sistema. Como conclusão, ampliações posteriores destes volumes mínimos mediante módulos interligados de 1 m^3 produzem um maior volume de água de chuva aproveitada que, embora, não compensa o incremento nos custos de aquisição e manutenção destes módulos adicionais.

A estratégia de considerar os casos extremos de tarifa congelada e tarifa crescente resultou ilustrativa: obtiveram-se duas retas de variação do benefício que delimitam o benefício esperado do projeto. Independentemente da evolução tarifária da água, o benefício resultará máximo para os volumes escolhidos. A possibilidade de oferecer um valor de benefício mínimo do projeto (caso de tarifa congelada) é uma ferramenta interessante diante de possíveis investidores, já que mostra a lucratividade do projeto inclusive considerando o caso mais conservador ou pessimista.

Como mostram as figuras, este benefício oscilará, para o sistema que visa atender 60% da demanda do prédio, entre um mínimo de R\$ 0,55 milhões (tarifa congelada) e um máximo de R\$ 0,87 milhões (tarifa crescente).

Para o sistema projetado para atender 100% da demanda de água do prédio, o benefício oscilará entre R\$ 0,98 milhões (tarifa congelada) e R\$ 1,55 milhões (tarifa crescente).

Uma vez fixado o volume de reserva de cada sistema, os parâmetros que definirão a rentabilidade do projeto (volume de água economizada por ano, soma dos custos e receitas totais) adquirem valores definidos, como mostra a seguir a Tabela 5 (exemplo para tarifa congelada).

Tabela 5: Somas de valor presente (VPL) dos custos e receitas para os volumes escolhidos, considerando “tarifa congelada” de água + esgoto.

	Volume de reserva escolhido	Água economizada por ano	Custo da água produzida	Investimento inicial + 20 anos de manutenção (VPL)	Receitas (VPL)
Cenário 60%	9 m ³	3.212,0 m ³ /ano	1,87 R\$/m ³	R\$ 68.644	R\$ 616.644
Cenário 100%	33 m ³	5.423,1 m ³ /ano	0,731 R\$/m ³	R\$ 79.321	R\$ 1.059.400

O custo unitário da água produzida obtém-se dividendo a água economizada durante os 20 anos de projeto entre os custos totais de investimento e manutenção. O resultado é que, para a instituição, o custo por m³ de água de chuva que seria captada em seu telhado e posteriormente reservada e distribuída, resulta muito inferior aos R\$ 26,154 por m³ da água comprada à concessionária (EMBASA).

A partir destes valores monetários concretos para os custos e as receitas, pode-se passar ao cálculo dos indicadores de viabilidade econômica. Para simplificar, será considerado o cenário de tarifa congelada (Tabela 5). Com isto estabelece-se de novo um limite inferior ou conservador para os valores dos indicadores de viabilidade econômica do projeto.

4.4 CÁLCULO DOS INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÓMICA

Segundo Gomes (2009) os indicadores normalmente empregados nos estudos de viabilidade econômica são:

Valor Presente Líquido (VPL) e Valor Anual Líquido (VAL), adequados para a comparação de várias alternativas de projeto mutuamente excludentes.

Relação Benefício/Custo

Taxa Interna de Retorno,

e Tempo de Retorno do Capital.

Para o estudo da viabilidade econômica do sistema de aproveitamento pluvial proposto, serão calculados os três últimos indicadores.

No cálculo destes indicadores será considerado o cenário de “tarifa congelada”. Neste cenário, a tarifa de água + esgoto para prédios da tipologia considerada é constante durante todo o horizonte do projeto e seu valor é igual ao atual: R\$ 26,154 por m³. Levando em conta que esta tarifa aumentou 216% durante a última década (2003-2013), tem que ser destacado que este cenário é muito conservativo e, portanto, supõe um limite inferior para o valor destes três indicadores da viabilidade econômica do projeto.

Cálculo da Relação Benefício/Custo.

Para este cálculo, o benefício (receitas de cada ano) e o custo total do projeto (custo inicial + manutenção de cada ano) devem estar expressados no valor presente (VPL 2014).

Para o sistema projetado para atender 60% da demanda de água do prédio:

$$RECEITAS \text{ (VPL 2014)} = \text{R\$ } 616.644$$

$$CUSTOS \text{ (VPL 2014)} = \text{R\$ } 68.644$$

$$r = \text{Relação Benefício/Custo} = \frac{RECEITAS \text{ (VPL 2014)}}{CUSTOS \text{ (VPL 2014)}} = 8,98 \text{ (Cenário 60\%)}$$

Para o sistema projetado para atender 100% da demanda de água do prédio:

$$RECEITAS (VPL 2014) = R\$ 1.059.400$$

$$CUSTOS (VPL 2014) = R\$ 79.321$$

$$r = \text{Relação Benefício/Custo} = \frac{RECEITAS (VPL 2014)}{CUSTOS (VPL 2014)} = 13,35 \text{ (Cenário 100\%)}$$

Cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é a taxa de juros que iguala os valores presentes das receitas aos custos de investimento também trazidos ao valor presente.

Uma vez calculada a TIR, a mesma é comparada com a TMA (Taxa Mínima de Atratividade), que representa a expectativa mínima de lucratividade (medida em termos de juros) da instituição ou inversores que devem escolher se participam do projeto. Desta forma, se uma instituição possui um leque de projetos nos quais poderia investir, os projetos cujos fluxos de caixa tivessem uma taxa interna de retorno maior do que a taxa mínima de atratividade deveriam ser escolhidos.

No caso do projeto que está sendo avaliado, a UFBA seria a investidora, assim como a receptora dos benefícios do projeto na forma de uma redução nas despesas gastas na conta de água na Escola Politécnica. Esta instituição pública federal não tem definidas TMA, portanto pode se afirmar que, havendo disponibilidade de verbas ou possibilidade de financiamento, qualquer TIR maior que a taxa de juros do mercado torna o projeto atraente desde o ponto de vista econômico. A taxa de juros do mercado financeiro foi avaliada nesta análise em $i = 0,12 = \text{TIR de 12\%}$.

$$RECEITAS (2014) = \sum_{r=1}^{r=20} \frac{FC_r}{(1+i)^r} = \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots = CUSTOS VLP (2014)$$

$$i = 1,2027 = \text{TIR de 120,27\% (para o Cenário 60\%)}$$

$$i = 1,7881 = \text{TIR de 178,81\% (para o Cenário 100\%)}$$

De acordo com estes valores da TIR, pode-se afirmar que os dois projetos estudados possuem uma rentabilidade 10 e 17,8 vezes maior da alternativa oferecida pelo mercado financeiro (12%).

Cálculo do Tempo de Retorno do Capital (TRC)

O período de retorno do investimento (*payback*) é medido mediante dois indicadores: o TRC não descontado e o TRC descontado.

Para esta análise será considerado o TRC descontado, que é o número de períodos (anos ou meses) que será necessário para que os fluxos de caixa futuros acumulados, considerando a taxa de juros do mercado, igualem o montante do investimento inicial + manutenção. Em outras palavras, é o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento.

Devido à elevada rentabilidade deste projeto, a escala mais adequada para o tempo de retorno foi de meses.

Para o sistema projetado para atender 60% da demanda de água do prédio:

$$\text{TRC} = 14 \text{ meses}$$

$$\text{Custos (VPL 2014)} = \text{R\$ } 49.978 \text{ (investimento inicial)} + \text{R\$ } 2.563 \text{ (14 meses de manutenção)}$$

$$\text{Receitas (VPL 2014)} = \text{R\$ } 53.539 \text{ (14 meses)}$$

Para o sistema projetado para atender 100% da demanda de água do prédio:

$$\text{TRC} = 6 \text{ meses}$$

$$\text{Custos (VPL 2014)} = \text{R\$ } 57.752 \text{ (investimento inicial)} + \text{R\$ } 1.289 \text{ (6 meses de manutenção)}$$

$$\text{Receitas (VPL 2014)} = \text{R\$ } 63.320 \text{ (6 meses)}$$

Para finalizar, a Tabela 6 sumariza os valores calculados para os indicadores de viabilidade econômica de cada um dos dois sistemas considerados: o sistema que visa atender 60% da demanda total de água do prédio com uma reserva de 9 m³, e o sistema que visa atender 100% da demanda total de água do prédio com uma reserva de 33 m³.

Tabela 6: Indicadores de viabilidade econômica nos dois sistemas considerados. Tarifa congelada

	Volume de reserva escolhido	Relação Custo/Benefício	Taxa Interna de Retorno (T.I.R.)	Tempo de retorno (T.R.C.)
Cenário 60%	9 m ³	r = 8,98	120,27%	14 meses
Cenário 100%	33 m ³	r = 13,36	178,81%	6 meses

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O projeto do sistema de aproveitamento pluvial da Escola Politécnica da UFBA utilizou uma metodologia para propor uso de águas pluviais em aplicações que não requeiram uso de água potável. Estes métodos poderiam ser usados em outros grandes conjuntos prediais do país, aportando solidez à análise de viabilidade técnica e econômica deste tipo de sistemas, e melhorando a qualidade dos projetos.

Por uma parte, foi usado um sistema de instrumentação automático para gerar uma base de dados de consumo dos diferentes setores do prédio, e a curva de demanda de água para usos não potáveis foi modelada usando redes neurais e lógica *fuzzy*.

Paralelamente, outra pesquisa permitiu caracterizar a demanda de água para fins não potáveis no prédio. Desta forma, foi estabelecido que uma grande percentagem da demanda de água da EP-UFBA é devida a usos não potáveis (58% no último semestre de 2013). Esta percentagem de água destinada para usos não potáveis supõe, usando a média dos últimos anos, 11,5 m³ por dia. Este volume de água supõe um custo por ano de R\$ 109.781 (EMBASA, 2013).

Em conjunto com a previsão de demanda diária, uma base de dados pluviométricos confiável e um modelo matemático (simulador Netuno 4.0) permitem quantificar o volume de água de chuva aproveitada para diversos volumes de reserva. Seguidamente, estabelecem-se os custos e as receitas do sistema em função de diferentes volumes de reserva. Finalmente, a aplicação de um critério econômico

permite escolher o volume de reserva que maximiza o benefício.

Para um projeto de aproveitamento pluvial no prédio principal, cujas superfícies de captação totalizam 2000 m² nas coberturas do 8º andar, a metodologia apresentada apontou um volume ótimo de 9 m³, o que iria supor umas poucas caixas d'água interligadas embaixo do telhado.

Além dos benefícios econômicos diretos, foram identificados uma série de impactos positivos no sistema de drenagem do local da EP-UFBA. Estes impactos são a atenuação da onda de cheia, funcionando os reservatórios pluviais como uma bacia de retenção, e especialmente a melhora da qualidade das águas pluviais vertidas na bacia hidrográfica do Campus de Ondina, pois este sistema iria reter a grande parte dos poluentes que são depositados nas superfícies do local entre chuva e chuva. Ainda, foi estudado o impacto da adoção de sistemas de aproveitamento pluvial nos sistemas de certificação ambiental do prédio (LEED e Caixa Azul) concluindo um impacto de entre 19 e 21 pontos em uma eventual avaliação do prédio dentro do sistema LEED.

Outro resultado interessante foi obtido do cálculo da energia associada à economia de água. Cada m³ de água tratada que é consumida na rede da Região Metropolitana de Salvador tem um custo energético de 1,50 kWh/m³, incluindo adução, tratamento, bombeamento, perdas por vazamento (37%) e eventual tratamento do esgoto. Para o caso do prédio estudado, o bombeamento predial entre os reservatórios inferior e superior aumenta o consumo energético, até chegar a um total de 1,87 kWh por m³ de água consumida no prédio. Sendo o consumo estimado do sistema de água de chuva projetado de 0,11 kWh/m³, a substituição de água tratada da rede por água de chuva captada no telhado do prédio provoca importantes ganhos energéticos netos (1,76 kWh por cada m³ de água de chuva aproveitada) que podem ser adicionados aos benefícios econômicos e ambientais do projeto.

Para o prédio estudado, recomenda-se um sistema de reservatórios e tubulações de distribuição que deverá decorrer separado do sistema de água potável, impedindo-se qualquer possibilidade de cruzamento, e deverá estar corretamente sinalizado como “sistema de água não potável”. Os pontos de uso finais instalados somente em áreas técnicas e ser de uso restrito por meio de torneiras de acionamento restrito, indicando o fornecimento de "água não potável", e serão operados somente por usuários habilitados. Devem ser previstas medidas que impeçam o contato da água pluvial com a água potável, tais como a separação atmosférica e o emprego de componentes antirretrossifonagem.

Em definitiva, conclui-se que o sistema mais adequado para a EP-UFBA seria um sistema de reserva e distribuição de água não potável separado da rede de água potável existente no prédio, num esquema misto de abastecimento: para usos finais não potáveis, a água de chuva tratada teria

preferência, embora a água potável realimentaria em caso de necessidade, quando não houver água de chuva disponível. As diretrizes que norteariam o projeto seriam: mínima interferência no sistema existente, evitar qualquer possibilidade de cruzamento, e garantir o abastecimento de água. Este sistema foi avaliado sob o nome de “Cenário 60%”. A análise econômica deste projeto revelou uma grande atratividade: índice benefício/custo de 8,98 e um tempo de retorno do investimento de 14 meses, considerando tarifa de água constante. Também foi avaliado um sistema alternativo, “Cenário 100%”, que visa atender toda a demanda de água do prédio com água de chuva, incluído a demanda de água potável usando para tal lâmpadas de desinfecção UV nos pontos de consumo. Este segundo sistema mostra-se mais rentável que o primeiro, com um índice benefício/custo de 13,36 e um tempo de retorno do investimento de 6 meses, considerando tarifa de água constante. Embora, este segundo cenário resulta improvável devido à uma eventual resistência ao consumo potável da água de chuva tratada por parte dos usuários do prédio, devido a aspectos sociais e culturais.

Este tipo de sistemas de aproveitamento pluvial na EP-UFBA iriam demandar poucos requerimentos de manutenção e operação:

- Limpeza periódica da silte e partículas sedimentadas das caixas de areia e fundos dos reservatórios. Esvaziar e limpar os poluentes das câmaras de descarte das águas iniciais (*first flush*). Retirada do óleo retido nos separadores de água e óleo. Estes contaminantes continuarão sendo vertidos nas águas dos canais de drenagem do Campus de Ondina até que um sistema de aproveitamento, ou bem de tratamento, de águas pluviais seja implementado.
- Garantir a operatividade do sistema: retirada de eventuais obstruções nas calhas, tubulações e sarjetas (folhagem e detritos), conferir o funcionamento de bombas, extravasores e comandos bóias, garantir a disponibilidade de cloro, e retrolavagem ou troca dos filtros se necessário.

PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A primeira proposta de trabalhos futuros corresponde à continuação natural desta pesquisa, que é a elaboração de projetos básicos de sistemas de reúso de água, aproveitamento de águas pluviais na EP-UFBA. Um primeiro projeto iria versar sobre um sistema de aproveitamento pluvial na cobertura do prédio principal da EP-UFBA, compreendendo um sistema de captação, de reserva, de tratamento e de distribuição (inserção no sistema hidro-sanitário existente no prédio). Estes projetos devem ser realizados em plataforma BIM- Building Information Modelling e deve ser enfatizada a análise rigorosa da sua viabilidade técnica e econômica. Estes projetos deverão estar adaptados à normativa vigente, ser tecnicamente viáveis e apresentar um orçamento ajustado à realidade, que permita um estudo de viabilidade e retorno econômico. As partes do projeto seriam:

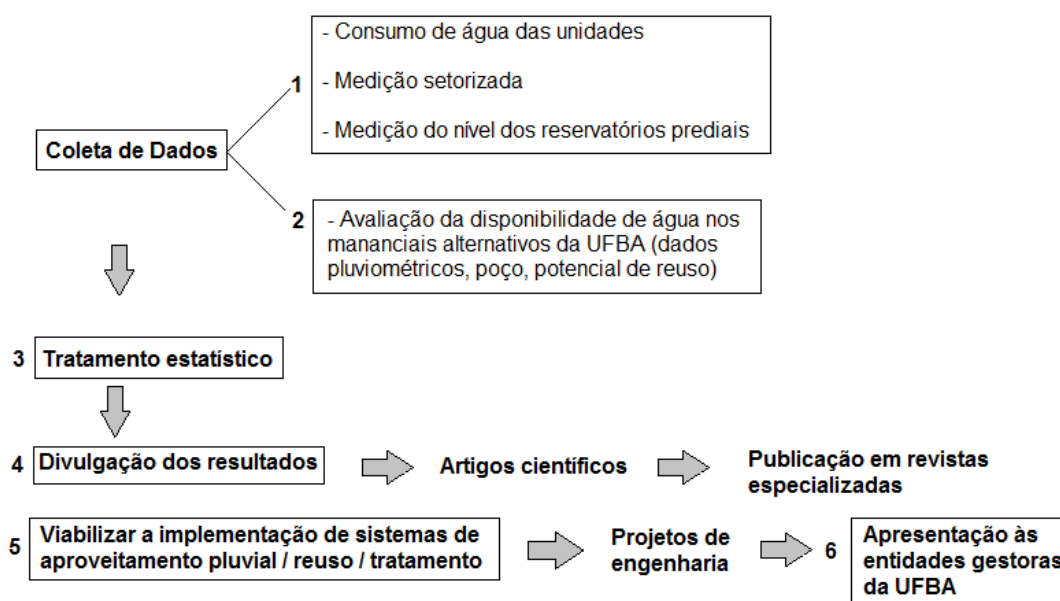
- Estudo técnico.
- Elaboração de peças gráficas para ilustrar o projeto usando software BIM.
- Elaboração de orçamentos.
- Estudo de viabilidade econômica (retorno do investimento).
- Estudo do impacto do projeto na eventual certificação LEED de cada unidade.

A divulgação destes projetos, uma vez elaborados, poderia ser:

- Apresentação dos projetos à PCU (Pro-Reitoria do Campus Universitário) e à gerência da UFBA.
- Captação de fundos: apresentação de projeto de pesquisa no CNPq e em editais de prêmios de inovação/sustentabilidade.

A Figura 26 ilustra como a metodologia da pesquisa enlaça com a elaboração dos projetos e sua apresentação às entidades que poderiam viabilizar sua implementação. A dissertação aqui apresentada é representada pelos pontos 1, 2 e 3 do fluxograma, enquanto os pontos 5 e 6 representam a elaboração de projetos de engenharia (aproveitamento pluvial e reúso de água) na EP-UFBA e sua apresentação às entidades gestoras.

Figura 26. Fluxograma da pesquisa teórica e da posterior elaboração e divulgação de projetos de engenharia.



Outra proposta para trabalhos futuros consiste em complementar a série histórica de dados de chuva da estação meteorológica situada no zoo de Ondina com os dados pluviométricos da estação pluviométrica recentemente instalada (mediados de 2013) na cobertura do prédio principal da EP-UFBA, e mostrada na Figura 27.

Figura 27. Plataforma de Coleta de Dados Pluviométricos, instalada na cobertura do prédio principal da EP-UFBA pelo Cemaden – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

O trabalho de pesquisa apresentado nesta dissertação também poderia ser aprofundado mediante um plano de coleta de amostras, em pontos escolhidos das distintas superfícies e com diferente espaçamento temporal entre as coletas de amostras. Assim, as amostras de água de chuva seriam classificadas por localização e pelo tempo desde o último evento de chuva. Posteriormente, as amostras podem ser analisadas no Laboratório de Análise de Águas da Escola Politécnica da UFBA (DEA, 4º andar). Seriam monitorados aqueles parâmetros de interesse que definem a qualidade das águas pluviais, visando os usos não potáveis propostos.

Até o momento, foram propostos como trabalhos futuros a concretização da metodologia e dos resultados desta pesquisa na forma de projetos de engenharia, o uso dos dados da nova plataforma meteorológica, e a elaboração de um plano de coleta de amostras.

O passo seguinte é aplicar esta metodologia ao conjunto dos campi da UFBA, começando pelo Campus de Ondina.

A UFBA é conformada por um elenco de prédios antigos repartidos majoritariamente em três campi, junto a várias novas construções de recente implantação, muitas das quais ainda estão em fase de construção. Todos estes prédios, novos e antigos, tem seu sistema hidro-sanitário configurado de

maneira similar à da EP-UFBA, que foi analisada nesta dissertação.

As despesas relativas ao pagamento da conta da água ultrapassaram o valor de 6 milhões de reais no ano de 2011 (Programa AGUAPURA, 2012). A otimização do sistema hidráulico da UFBA, junto com a substituição de uma parte do consumo por água proveniente de reúso, chuva ou poço provocaria uma redução significativa deste valor, tornando rentável o investimento em estas novas tecnologias.

Por outra parte, a UFBA conforma um espaço privilegiado para desenvolver estes projetos, aplicando conceitos ainda inovadores para a engenharia (BIM, LEED, aproveitamento de água de chuva, instalações prediais de água não potável) e com um grande potencial de criar produção científica original e de interesse nesta área.

Todos os usos de água para fins não potáveis que foram identificados na EP-UFBA aparecem também, numa maior escala, no resto do Campus. A metodologia desenvolvida neste trabalho é por tanto extrapolável para as restantes unidades da UFBA. Assim, pode-se planejar uma nova pesquisa para avaliar o potencial de economia de água no Campus mediante o uso dos mananciais alternativos disponíveis. Esta nova pesquisa levaria em conta estas três particularidades presentes no Campus:

- Existência de um novo manancial alternativo que não foi considerado no caso da Escola Politécnica: o poço do Campus que dá acesso às águas subterrâneas do Campus de Ondina.
- Novas possibilidades de uso não potável de água. Um deles é o uso de água para torres de resfriamento em sistemas centralizados de ar condicionado. Por exemplo, as torres da Biblioteca do Campus de Ondina, ou a da Reitoria (Figura 28).
- Mesmos usos não potáveis que os identificados para a Escola Politécnica, embora multiplicados vezes uma escala maior. Isto é, uma maior área de rego (jardins), laboratórios e plantas piloto (invernadouros), vários grandes prédios com banheiros, uma grande frota de veículos que é lavada periodicamente e vários prédios novos que estão sendo construídos ou reformados. Como exemplo apresentam-se as Figura 29 (construção de novos prédios) e 30 (frota de veículos).

Figura 28. Torre de resfriamento da Reitoria da UFBA, situada fora do Campus (Bairro de Campo Grande). Observam-se perdas de água por evaporação, respingo, e vazamentos.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Figura 29. Uso de água potável para construções no Campus de Ondina - UFBA.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Figura 30. Frota de veículos da UFBA, estacionados no Campus de Ondina.

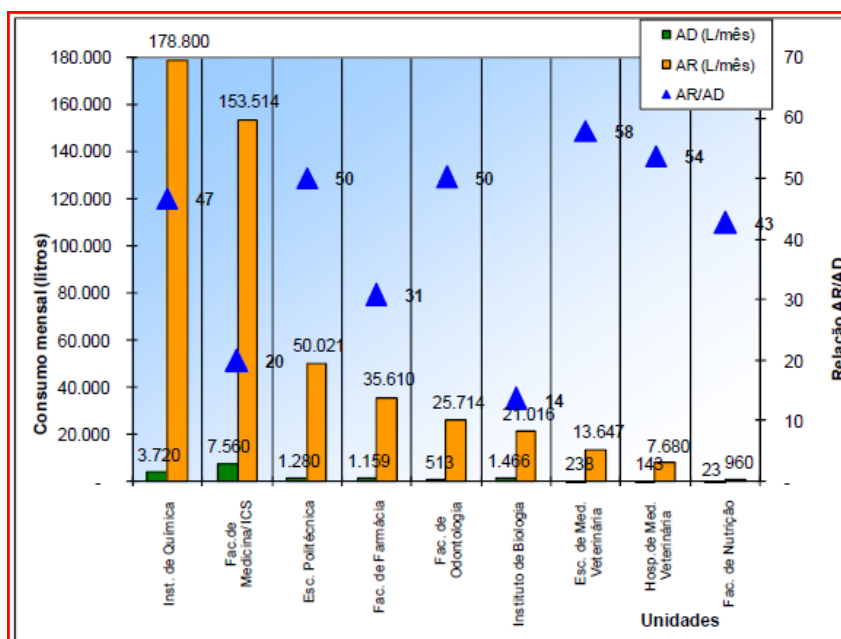


Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Na EP-UFBA, foram destacados os destiladores dos laboratórios como um dos grandes consumidores de água para fins potáveis. Muitas outras unidades da UFBA produzem água destilada em seus laboratórios, usando o mesmo tipo de equipamentos que na EP-UFBA. O potencial de economia de água potável nos destiladores da UFBA é enorme.

(NAKAGAWA, 2009) fez um levantamento dos destiladores da UFBA. Das 11 unidades estudadas que apresentavam laboratório (Politécnica, Medicina/ICS, Odontologia, Escola de Medicina Veterinária, Hospital de Medicina Veterinária, Nutrição, Instituto de Biologia, Instituto de Química, Farmácia, Física e Geociências) foram identificados 55 destiladores, dos quais 38 estão em funcionamento. Na Escola Politécnica foram identificados 7 (o número subiu em 2013 para 10). Os 48 destiladores restantes oferecem idênticas oportunidades às identificadas para a EP-UFBA, tanto de aproveitamento de águas não potáveis para sua refrigeração como de reúso do efluente. Seu consumo médio mensal e sua relação Água Destilada produzida/Água de resfriamento usada são mostrados na Figura 31.

Figura 31. Consumo médio mensal dos destiladores das unidades da UFBA, e sua relação Água Destilada produzida/Água de resfriamento usada.



Fonte: (NAKAGAWA, 2009).

Os 5.421,15 m³ de água consumidos por ano nos destiladores das outras unidades da UFBA (NAKAGAWA, 2009) supõem, usando preços de 2013, um custo de R\$ 141.784,90 por ano.

Na figura anterior observa-se que a maioria dos destiladores operam desregulados, sob uma relação AR/AD (Água de resfriamento/Água destilada) entre 14 e 47. Se todos os laboratórios da UFBA operassem com uma relação AR/AD de 14, que é a usada pelo Instituto de Biologia, a redução da água consumida nos destiladores seria de 256 m³ por mês. Por tanto, antes de se pensar em usar água de chuva para água de resfriamento nos destiladores, resulta mais interessante o passo prévio da conscientização das equipes dos laboratórios. Estas equipes podem otimizar o processo de destilação e assim reduzir significativamente o insumo de água de resfriamento sem detrimento da quantidade e qualidade da água destilada produzida. Após esta medida de combate ao desperdício, já com o processo otimizado, pode-se passar à substituição da água potável da rede por água de chuva ou reuso, como água de resfriamento no processo. A Figura 32 mostra qual seria o consumo médio mensal de água destinada ao resfriamento dos destiladores em cada unidade, se o funcionamento destes estivesse otimizado. No total da UFBA, a água destinada a este fim seria 231 m³/mês, aproximadamente a metade do consumo com os destiladores operando nas condições atuais.

Figura 32. Consumo médio mensal dos destiladores das unidades da UFBA, suposto funcionamento otimizado (relação AR/AD = 14).



Por outra parte, o Campus da UFBA em Ondina está situado numa cota mais baixa que a EP-UFBA, na parte baixa e plana de uma bacia de drenagem. Por esta razão, dispõe de mais um tipo de manancial alternativo além dos considerados para a EP-UFBA (água de chuva e reúso). Este outro manancial alternativo é a água do poço situado junto ao Restaurante Universitário (Figura 33). Este poço não está sendo usado, tendo como única finalidade o valor pedagógico (Projeto Poço Escola, IGEO – Instituto de Geociências). Por isto, outra proposta para trabalhos futuros consiste em usar o medidor de nível *Levellogger* para monitorar o nível do poço do Campus. Usando os dados pluviométricos das duas estações disponíveis, pode-se estudar o efeito das chuvas recebidas no Campus no nível do poço. Isto ajudará a caracterizar melhor a bacia de drenagem do Campus e a estudar as possibilidades de uso deste manancial para abastecer usos não potáveis no Campus da UFBA - Ondina.

Figura 33. Poço no Campus de Ondina – UFBA: poço com moto-bomba tubular, tanque de água e painel informativo.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Em definitiva, o Campus de Ondina – UFBA está vivenciando um período de expansão e modernização de sua infraestrutura, o que pode ser aproveitado para inserir conceitos e tecnologias de uso eficiente de água, interessantes pela elevada viabilidade econômica.

Vários dos prédios novos que estão sendo construídos estão ainda em sua fase inicial (fundações e estruturas). Este é o caso do prédio novo da EP-UFBA. Durante o próximo ano (2014) será licitada a instalação hidro-sanitária de vários destes prédios, o que representa uma oportunidade ótima para dotá-los de sistemas de aproveitamento pluvial e reúso. Outros prédios, mesmo estando em fase mais avançada e com as instalações hidro-sanitárias concluídas, ainda não foram ocupados e podem aceitar estes sistemas. Em qualquer caso, e diferentemente dos prédios antigos, conta-se com as plantas em formato eletrônico (CAD) o que facilita o estudo e elaboração de projetos. Na área de infraestrutura, após as últimas reformas, também foram adotados materiais mais modernos, eficientes e que incorporam conceitos de sustentabilidade. Como exemplo do aqui exposto, apresentam-se a Figura 34 e na Figura 35:

Figura 34. Prédio novo no Campus de Ondina – UFBA, com boas condições para a captação, reserva e distribuição por gravidade de água de chuva.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2011).

Figura 35. Instalação de pisos e calçadas permeáveis no Campus de Ondina - UFBA, após as obras de reforma de 2012/2013.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

APÊNDICE I

SISTEMA HIDROSANITÁRIO E DE DRENAGEM PLUVIAL DA EP-UFBA

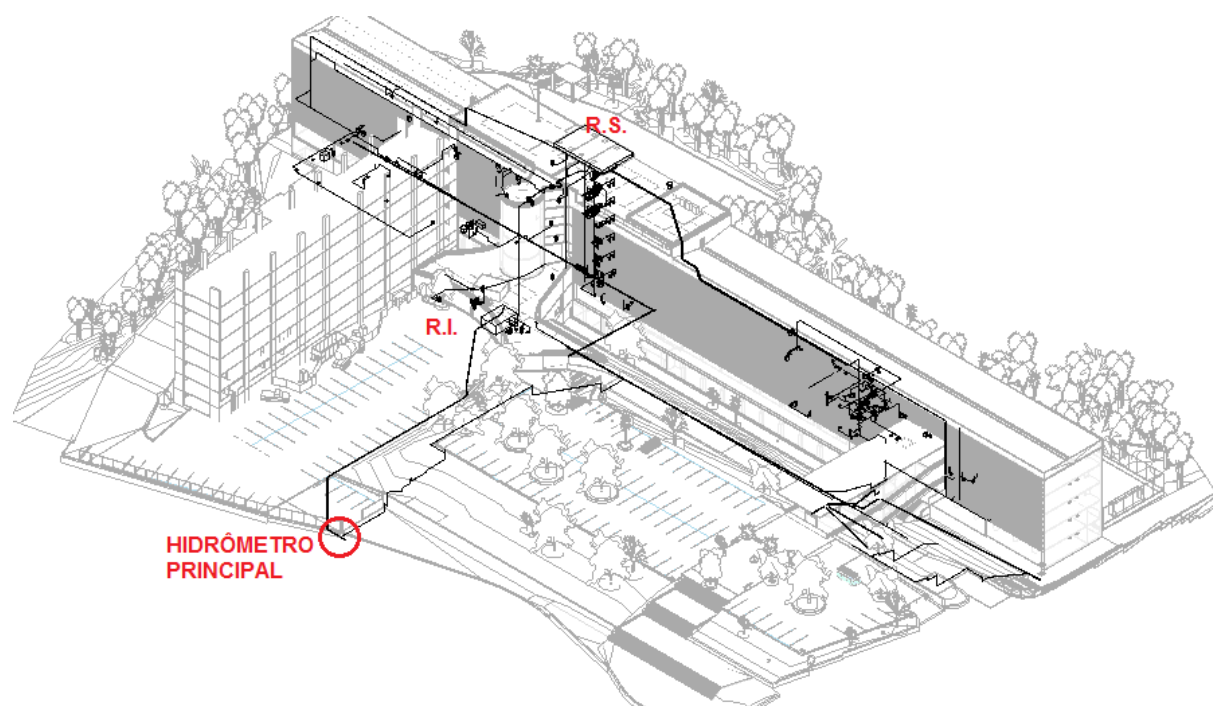
AI.1 – RECALQUE, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL

AI.2 – SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL

AI.1 RECALQUE, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL

- VISÃO GERAL DO SISTEMA

Figura 36. Vista do hidrômetro principal, reservatórios Inferior e Superior e prumadas de distribuição, que conformam o sistema hidráulico do prédio.

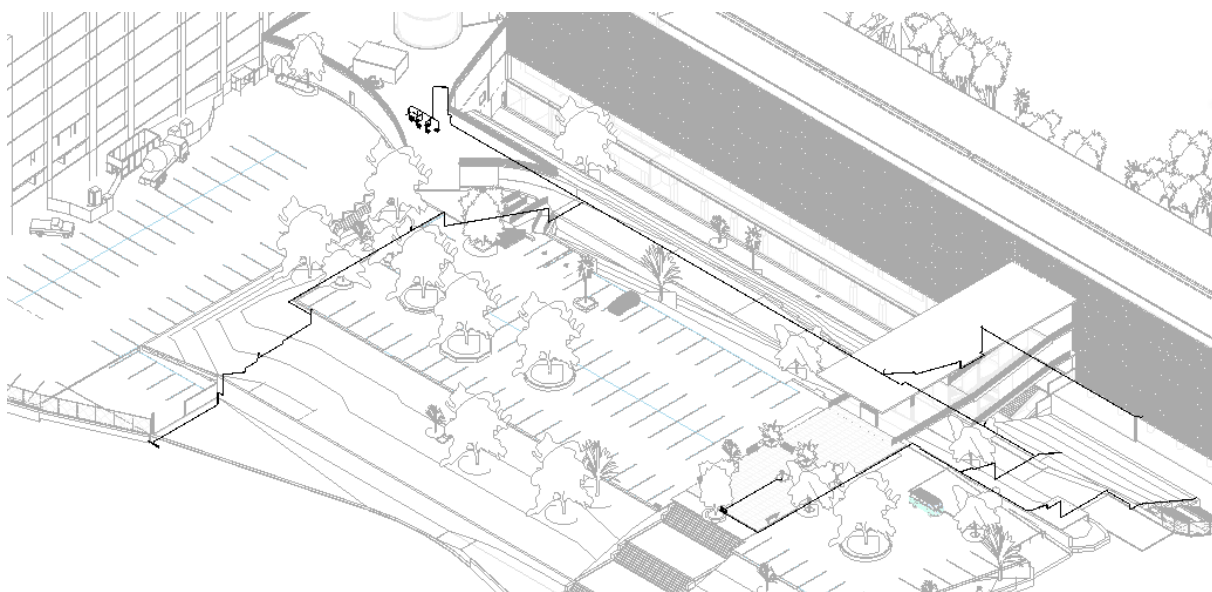


Toda a água consumida na EP-UFBA (prédio principal, laboratórios e área externa) passa por um hidrômetro principal propriedade da concessionária. Este hidrômetro está situado na Avda. Cardeal da Silva e tem como número de referência Após o hidrômetro, a tubulação atravessa o estacionamento junto ao prédio novo e entra no prédio principal numa cota de 1 m abaixo do 4º andar.

Ao igual que na maioria dos grandes prédios no Brasil, o abastecimento é indireto: a rede de distribuição urbana abastece um reservatório inferior. Daí, por meio de bombas, a água é recalçada até

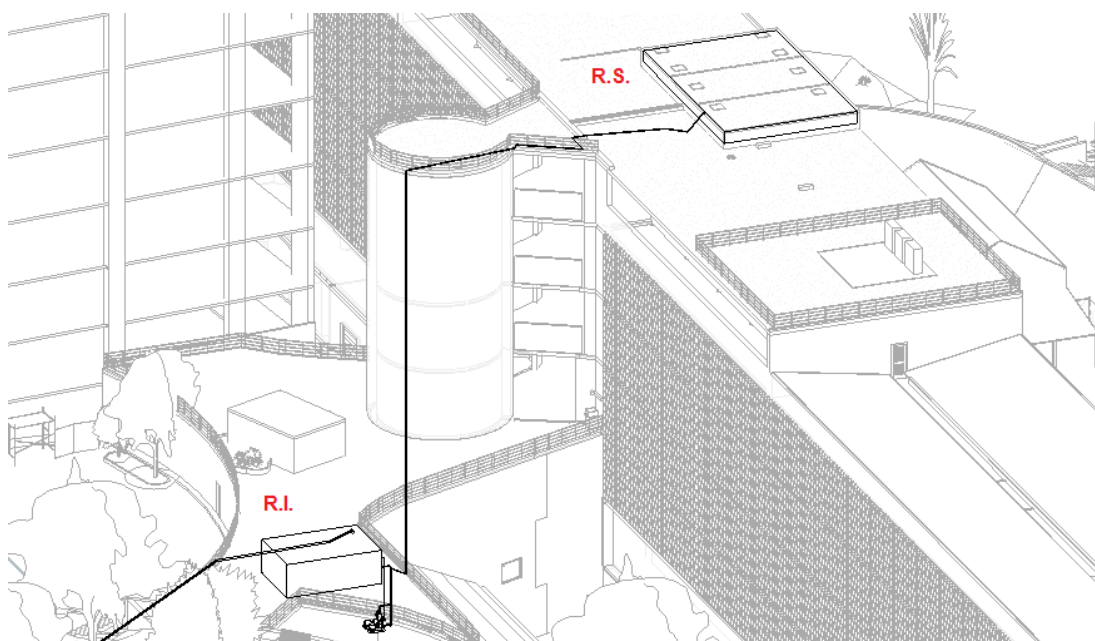
um reservatório superior na cobertura do prédio. Uma pequena parte da água que atravessa o hidrômetro é sangrada antes de chegar ao reservatório inferior para abastecer a área exterior dianteira do prédio, conformando um sistema auxiliar de tubulações de PVC de pequeno diâmetro que abastecem as torneiras do jardim, usando a pressão da rede.

Figura 37. Tubulações da área externa.



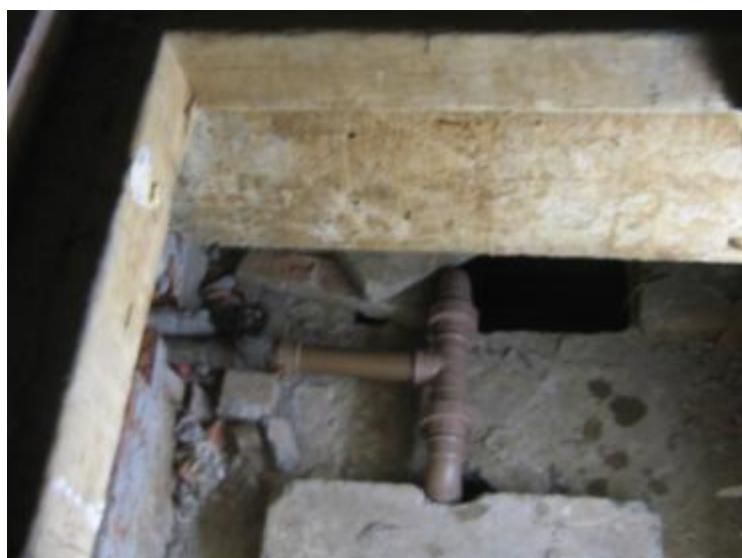
O recalque desde o reservatório inferior é automático, comandado por chaves-bóia, segundo o nível do reservatório superior. O reservatório superior tem a capacidade, no caso da EP-UFBA, de 155% do consumo médio diário. O reservatório inferior tem uma capacidade dobro do reservatório superior.

Figura 38. Recalque desde o reservatório inferior para o superior.



- RESERVATÓRIO INFERIOR

Figura 39. Tubulação de entrada no reservatório inferior e as dimensões deste (volume máximo, área e altura máxima da lamina de água).



Res. Inferior		
V_max =	63,91	m ³
A_inf =	30,15	m ²
h_max =	2,12	m

O reservatório inferior do prédio principal está situado entre os andares 2º e 4º, sendo acessível por médio do piso do 4º andar. Este reservatório possui uma capacidade de 63,91 m³ o que equivale a aproximadamente três dias de consumo médio.

- SISTEMA DE RECALQUE

Na casa de bombas do 2º andar do prédio, um grupo de duas bombas de 5 CV funciona em regime de rodízio: o bombeamento é realizado por uma bomba só, enquanto a outra permanece em reserva. O quadro de bombas não dispõe de nenhuma automação para controlar o tempo de funcionamento de cada bomba, nem horímetro, ficando a alternância entre as bombas a critério do operário de manutenção, quem procura estabelecer tempos de trabalho similares para cada bomba.

A sucção das bombas é afogada (cota das bombas embaixo do nível mínimo do poço de sucção) e conseqüentemente não é de esperar problemas de cavitação.

O controle de partida e parada das bombas é feito mediante um conjunto de duas chaves de comando bóia, situadas uma em cada reservatório. A chave-bóia do reservatório superior faz contato (e manda o sinal de partida da bomba) quando atinge a posição vertical, o que acontece quando o nível do reservatório superior é mínimo. Após um tempo de funcionamento da bomba uns 25 minutos, o nível no reservatório superior atinge o nível máximo. A bóia atinge então a posição horizontal e provoca o desligamento da bomba.

A chave-bóia do reservatório inferior serve para proteger a bomba no caso de uma eventual avaria no controle da bomba. Assim, se a chave-bóia do reservatório superior entrasse em pane e o motor da bomba continua-se funcionando mesmo atingindo-se o nível máximo no tanque superior, chegaria um momento em que o nível do reservatório inferior descesse até o ponto de permitir a entrada de ar na bomba, o que iria ocasionar cavitação. Para evitar esta situação, a chave-bóia do reservatório inferior desligaria a bomba quando a água descesse por embaixo de um nível de segurança.

O normal funcionamento do sistema hidráulico supõe uma ou duas partidas e paradas da bomba por dia, pois o reservatório superior possui uma capacidade equivalente a 155% do consumo médio diário.

A instalação de recalque carece de válvula de retenção, o que pode acarretar a queima do motor, além de um esforço de desgaste na bomba. Quando o motor da bomba desliga, o que acontece várias vezes por dia pelo normal funcionamento da chave-bóia do reservatório superior, o fluxo da água na coluna de recalque se inverte, pois a altura desta coluna é de 27 m. Este fluxo transitório demora uns instantes até que as pressões atingem o equilíbrio e a coluna de água fica em repouso. Durante este transitório hidráulico, a bomba gira em sentido contrário ao habitual de recalque e o motor pode funcionar como um gerador, com correntes temporárias percorrendo o bobinado do motor.

Por outra parte, durante a partida do bombeamento são registradas elevadas correntes no motor da bomba, necessárias para vencer o “conjugado de partida do motor”, o que supõe correntes elétricas de intensidades 7 ou 8 vezes maiores que as habituais. Isto provoca desgaste e uma redução da vida útil do motor.

Devido ao elevado número de partidas e paradas da bomba, recomenda-se a instalação de chaves de partida e parada suaves (denominadas comercialmente “soft-starters”) assim como a instalação de pelo menos uma válvula de retenção na linha de recalque das bombas.

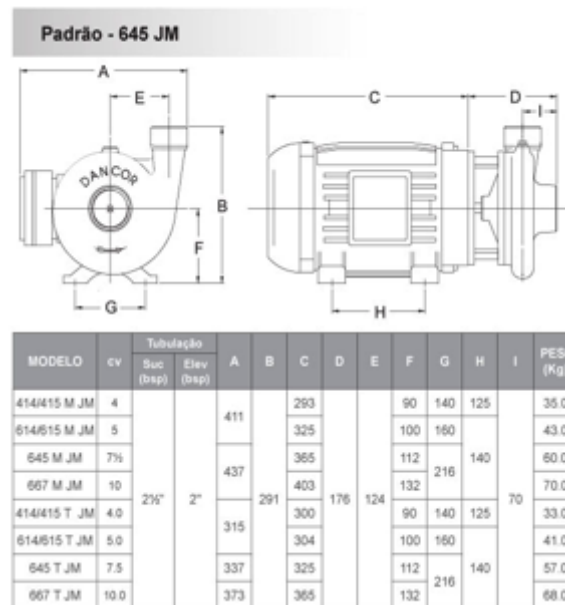
Figura 40. Casa de bombas no 2º andar mostrando uma das bombas e a instalação hidráulica.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2011).

A linha de sucção das bombas está formada por tubos de cobre DN 50. A linha de recalque são tubos de cobre DN 40 é vence um desnível geométrico de 28 m até chegar ao reservatório situado na cobertura do prédio. Note-se que falta uma das bombas: o motor queimou e ainda não tinha sido reposta.

Figura 41. Dimensões e identificação do modelo da bomba: DANCOR JM de 5,0 CV de potência.

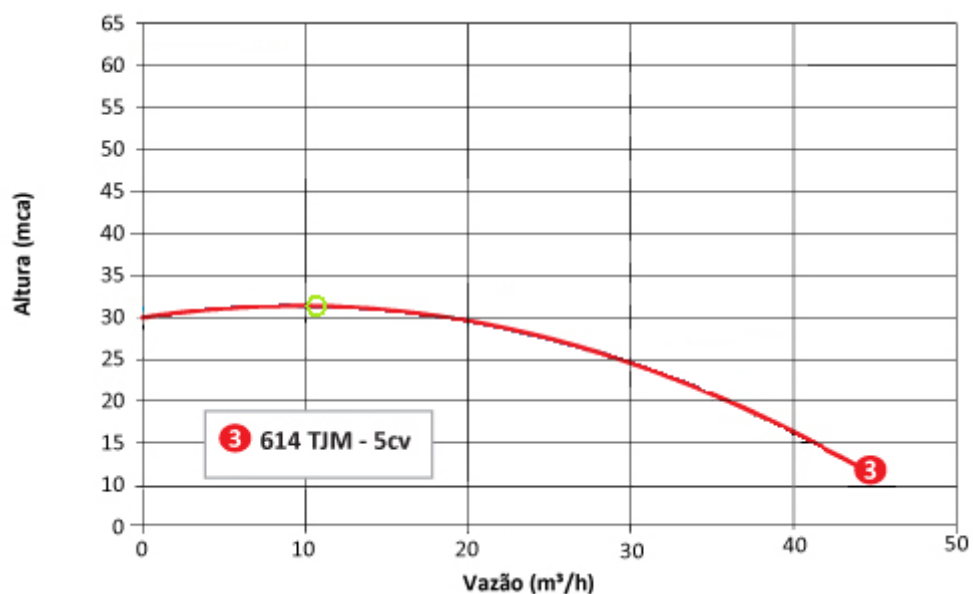


Identificação do ponto de trabalho da bomba : H, Q

Figura 42. Identificação do ponto de trabalho da bomba, usando sua curva característica e a altura de recalque: 28 m (desnível geométrico) + 3 m de perdas.

$$H = 31 \text{ m}$$

$$Q = 10,5 \text{ m}^3/\text{h}$$



- RESERVATÓRIO SUPERIOR. BARRILETE DE DISTRIBUIÇÃO.

O reservatório superior possui um volume útil de 31,5 m³, mais uma reserva permanente de incêndio não calculada. A tubulação de entrada é de cobre, DN 40, e está situada a uma cota superior à do extravasor. A altura máxima da lamina de água, desde a saída do reservatório até o nível do extravasor, é de 59 cm.

O reservatório está configurado em três grandes compartimentos interconectados, com oito tampas metálicas de acesso. Do barrilete de distribuição partem 6 linhas de tubulações. Uma delas (Cobre DN 65) é exclusiva para os hidrantes de incêndio, situados junto das escadarias na entrada principal. As outras (quatro em F°F° DN 50 e uma PVC DN 100 que reduz posteriormente para DN 50) alimentam as cinco prumadas de distribuição do prédio.

Figura 43. Esquema do reservatório superior.

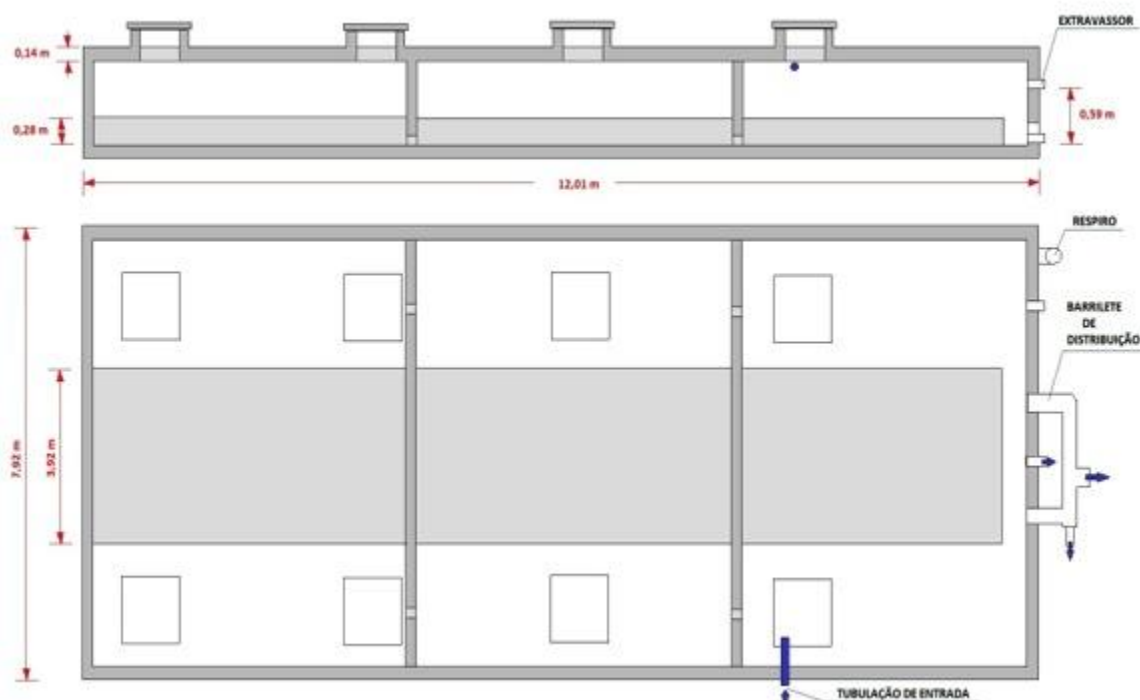


Figura 44. Vista do reservatório superior.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2011).

Figura 45. Barrilete de distribuição na saída do reservatório superior.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2011).

- PRUMADAS DE DISTRIBUIÇÃO.

Figura 46. Prumada de distribuição n° 1

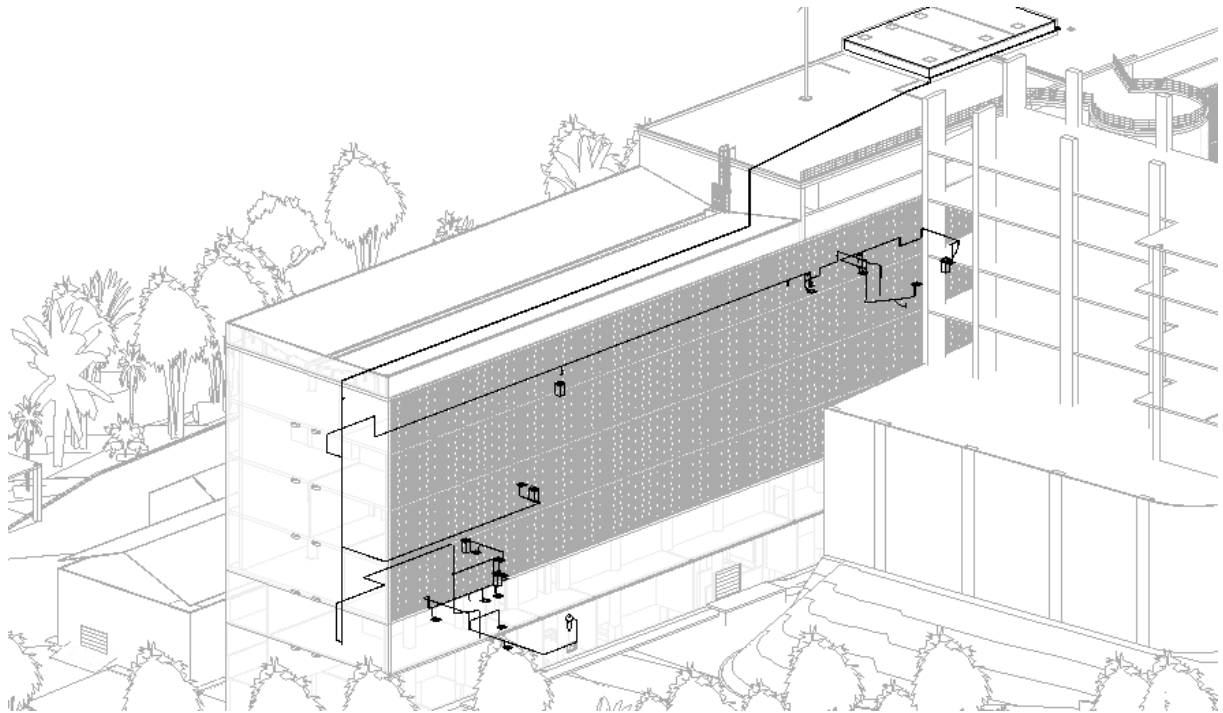


Figura 47. Prumada de distribuição n° 2

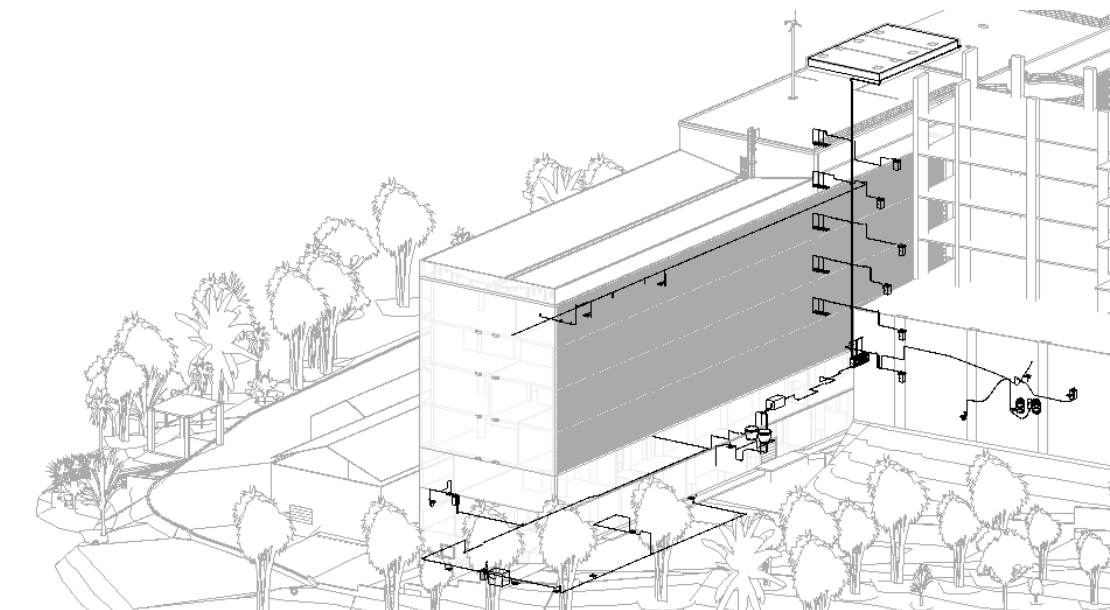


Figura 48. As prumadas de distribuição nº 3 e nº4, paralelas, atendem os sanitários principais, na parte central do prédio.

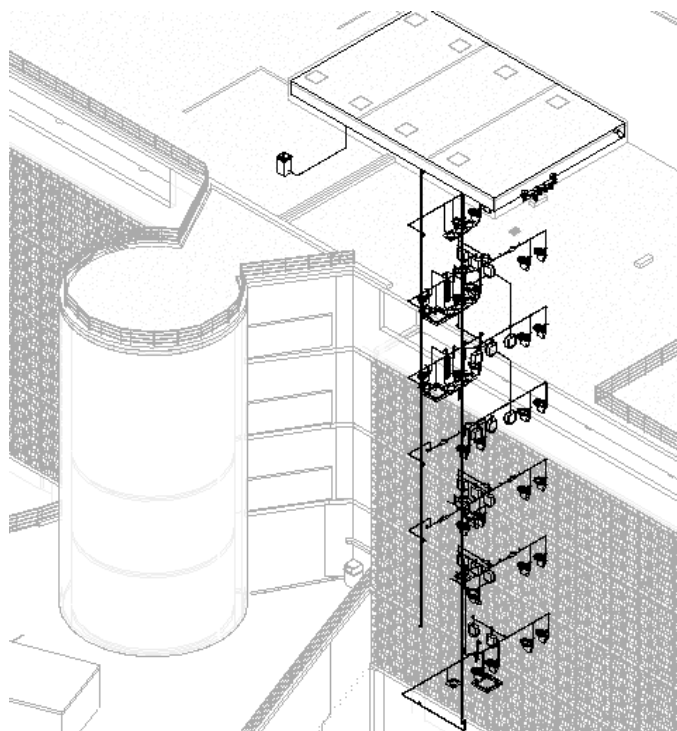


Figura 49. Detalhe do re-aproveitamento do efluente do lavatório (águas cinzas) na prumada nº 3, para descarga nos mictórios do andar inferior (5º e 6º andar) e cartaz informativo no mictório do sanitário masculino, 6º andar.

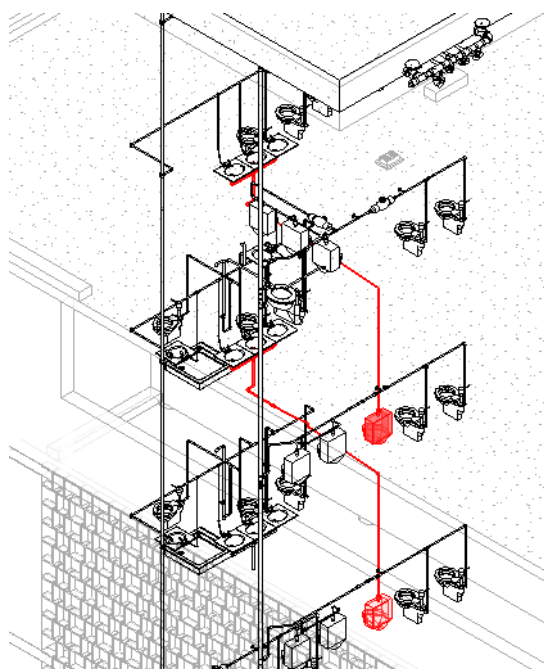


Figura 50. Prumada de distribuição nº 5 e prumada de hidrantes para incêndio.

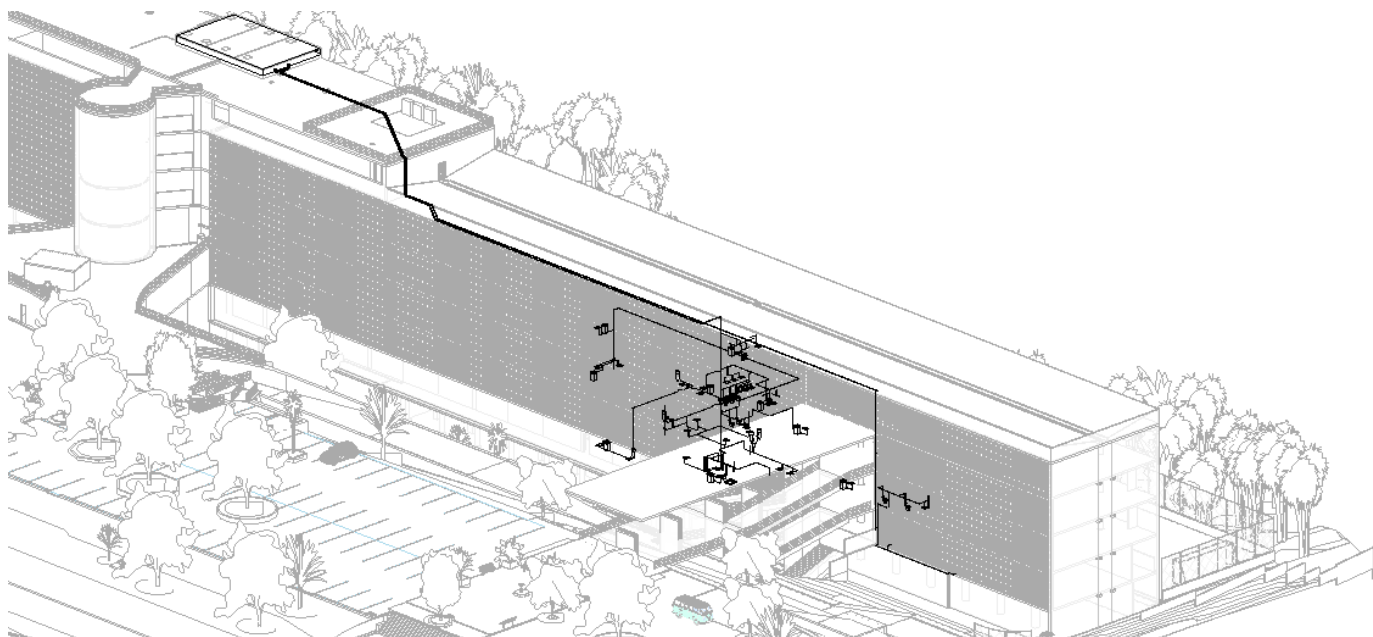


Figura 51. Prumadas de distribuição nº 2 e nº 3, com as derivações para atender os banheiros masculino e feminino. Andar 8, embaixo do reservatório superior.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

AI.2 – SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL

O sistema de drenagem das coberturas da EP-UFBA foi projetado e dimensionado para escoar uma chuva de intensidade elevada salvaguardando o prédio e a segurança de seus ocupantes. O prédio foi construído anteriormente à norma de 1989 sobre “Instalações prediais de águas pluviais” - NBR 10844 (ABNT, 1989), que estabelece como chuva intensa a escoar aquela de 5 minutos de duração e um período de retorno de:

- 1 ano, para áreas pavimentadas, onde empoçamentos possam ser tolerados. Uma chuva destas características corresponde para a Região Metropolitana de Salvador, segundo esta normativa, a 108 mm.
- 5 anos, para coberturas e/ou terraços. Corresponde a 122 mm.
- 25 anos, para coberturas e áreas onde empoçamento ou extravasamento não possa ser tolerado. Corresponde a 145 mm.

A vazão de projeto é a base do dimensionamento do sistema de drenagem. Segundo a normativa vigente esta vazão deve ser calculada pela eq 2:

$$Q = \frac{I \cdot A}{60}$$

eq 2 : vazão de projeto de um sistema de drenagem, onde:

Q = Vazão de projeto, em L/min

I = intensidade pluviométrica, em mm/h

A = área de contribuição, em m²

Para as coberturas do prédio principal da Escola Politécnica, a vazão de projeto vale:

$$Q = \frac{122 \cdot 12 \cdot 2845,8}{60} = 69437,5 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 4166,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

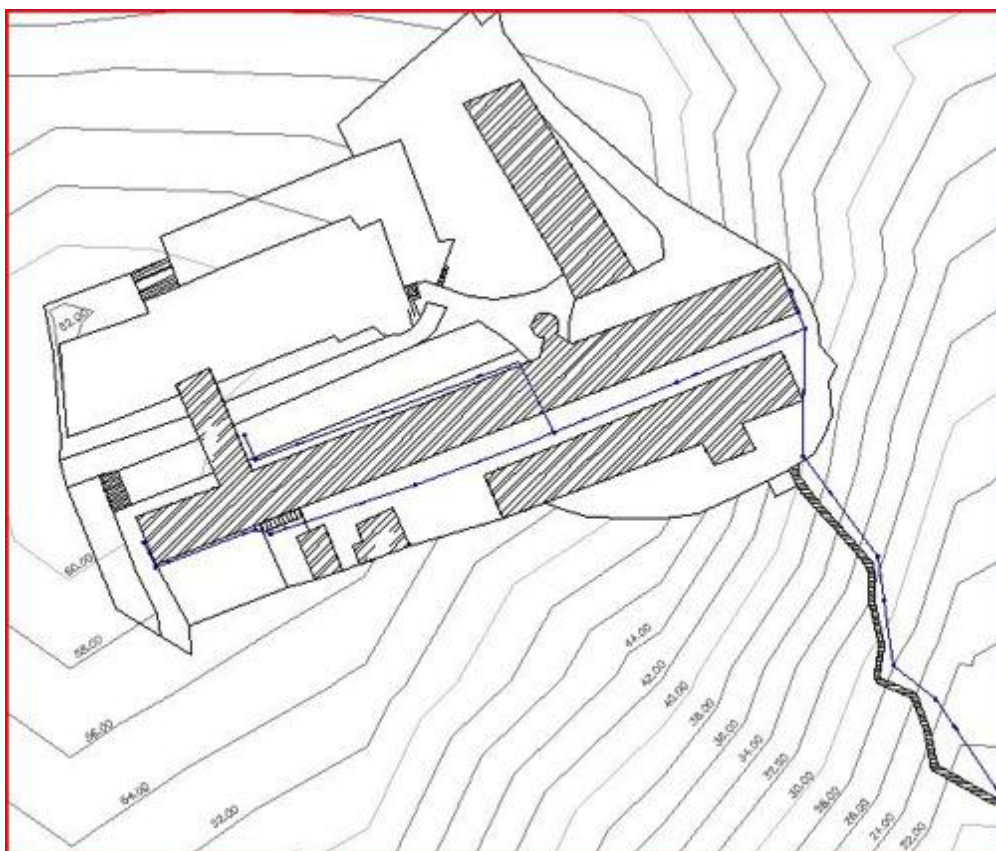
(aplicação da eq 5)

Outra interpretação deste cálculo é que o sistema de drenagem destas coberturas deve ser capaz de dar conta de um pico de chuva de 347,2 m³ em 5 minutos.

Para dar conta desta vazão de projeto, dispõe-se de seis tubos de descida diferentes. Cada grupo de tubos é responsável por uma área da cobertura, portanto a vazão para a qual foram dimensionados é um terço da vazão total de projeto, antes calculada. Estes tubos escoam diretamente para quatro PVs (poços de visita). Dois destes PVs, situados nas fachadas laterais do prédio, recebem a água de chuva que cai por meio de tubos paralelos de ferro fundido desde as coberturas. O terceiro PV recebe as águas pluviais da cobertura conduzidas por um tubo de descida que circula pelo interior do prédio. Este PV conforma uma caixa cilíndrica de 4 m de profundidade, com uma parede divisória no médio separando os dois efluentes: esgoto e águas pluviais. Mais adiante, após percorrer uns 100 m paralelamente à fachada dianteira do prédio, as águas pluviais mudam de direção em outra caixa cilíndrica e atravessam o prédio, em direção ao pátio dos laboratórios (parte traseira do prédio principal).

As águas pluviais captadas nas coberturas e nas distintas superfícies anexas ao prédio (estacionamentos e áreas asfaltadas) são direcionadas para duas grandes bacias de drenagem, com exceção de uma pequena parte que escoar para as ruas da parte alta (bairro de Federação). As águas pluviais das duas bacias principais são conduzidas até um poço de visita final na parte mais baixa do local, situado na entrada do pátio de laboratórios junto a uma das fachadas laterais do prédio principal. Neste PV, as vazões de ambas as bacias irão se juntar, para descer uma ladeira mediante uma escada drenante. Esta ladeira separa a Escola Politécnica do resto do Campus de Ondina – UFBA, que conforma a bacia final para qual o local estudado contribui.

Figura 52. Planta com o local da EP-UFBA (prédio principal, prédio novo em construção e laboratórios) e as curvas de nível.



Fonte da topografia: GoogleEarth, 2013. A escada drenante desce desde a cota 40,00 até a 21,00.

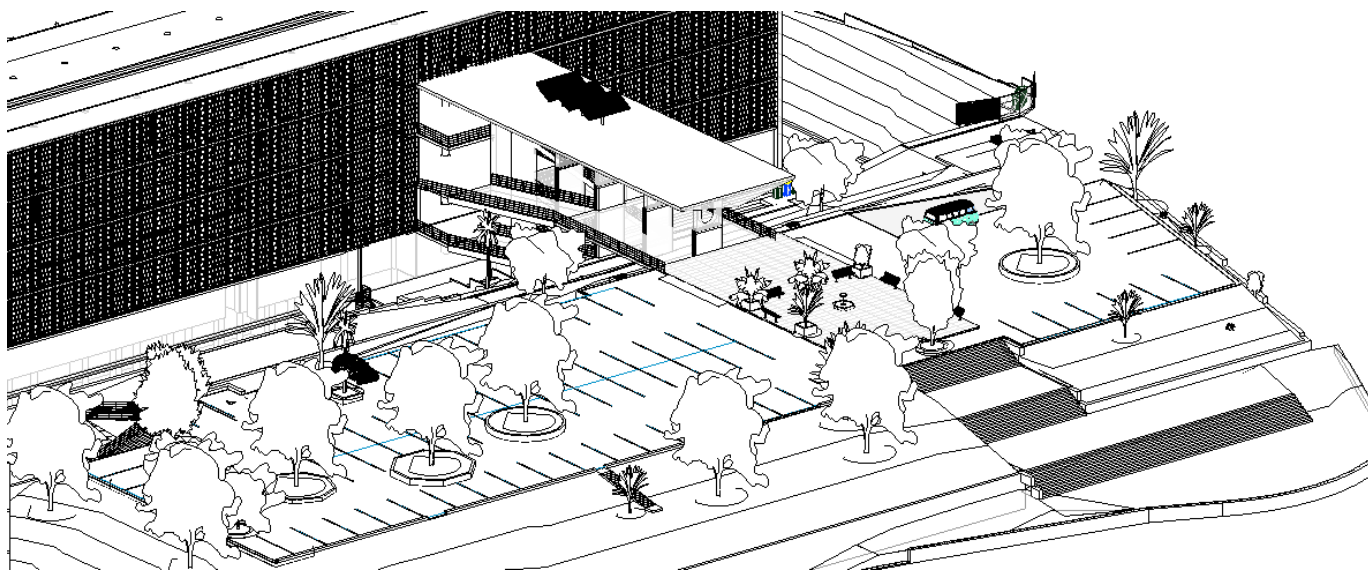
O destino final das águas pluviais da Escola Politécnica são os canais que, atravessando o Campus, infiltram parte desta água no subsolo (existe um poço no Campus que dá acesso a esta água) ou conduzem a água não infiltrada para seu vertido no litoral do bairro de Ondina.

A continuação, são apresentadas em sequência todas as superfícies de captação (áreas impermeabilizadas situadas em diferentes cotas) que conformam as sub-bacias de drenagem da EP-UFBA. O sistema de drenagem existente articula estas sub-bacias de contribuição até sua junção em duas bacias finais, num PV junto da escada drenante final.

A sequência apresentada compreende os estacionamentos pavimentados e as coberturas do prédio principal e laboratórios, até chegar águas embaixo da escada drenante aos canais de do Campus de Ondina – UFBA.

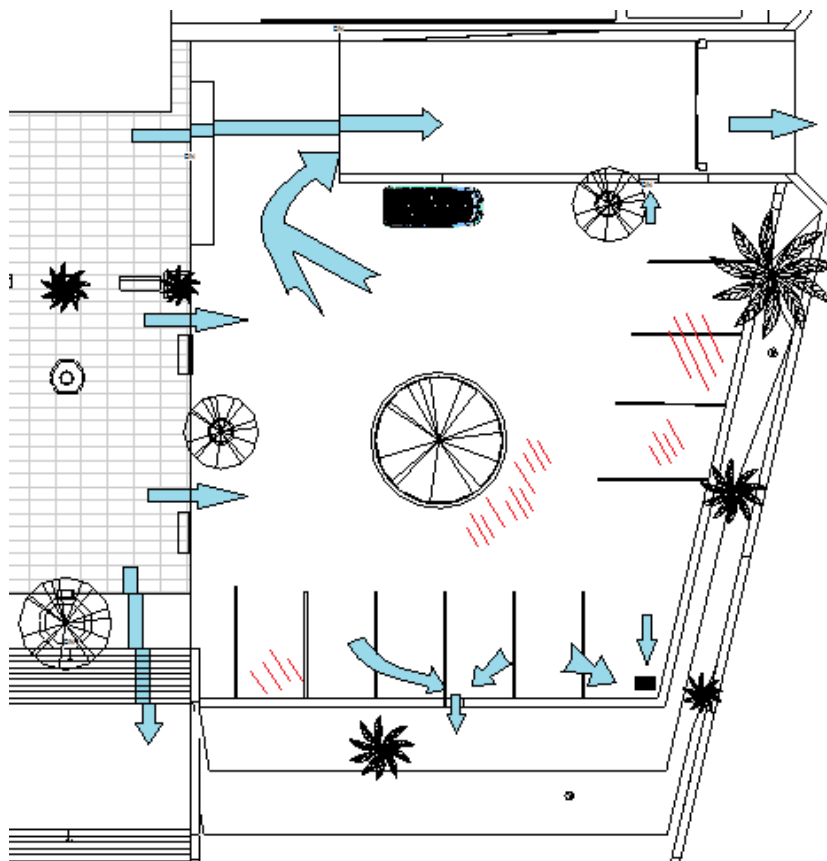
Foi contabilizada a área impermeabilizada (área de captação) de cada uma das sub-bacias, assim como o coeficiente de deflúvio de cada uma delas. A área correspondente ao prédio novo em construção não foi contabilizada. Quando este prédio estiver concluído, serão instalados telhados de fibrocimento similares aos existentes no prédio principal, totalizando uma área de 1090 m².

Figura 53. Vista do parking superior, o qual conforma a sub-bacia B3 (esquerda) e a bacia A (direita).



Bacia A (836 m² de área impermeabilizada)

Figura 54. Bacia A (parte direita do estacionamento superior)



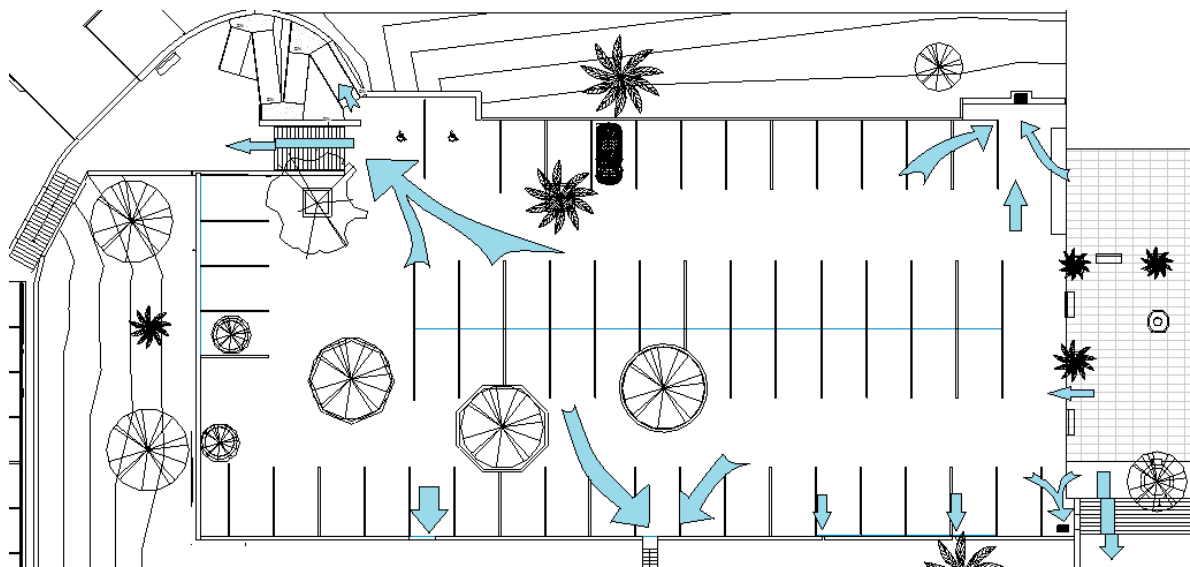
Esta bacia está isolada das outras, e seu escoamento é direcionado, em parte, para o jardim, e em parte, para as ruas que beiram o local da Escola Politécnica (Avda. Cardeal da Silva, mediante uma escada, e Rua Aristides Novis, mediante uma rampa).

A maior parte desta superfície é usada como estacionamento de professores, e outra parte conforma uma área de pedestres (praça e via de acesso). Há quatro canteiros com árvores. O piso de concreto do estacionamento apresenta rachaduras (coeficiente de deflúvio $R=0,6$) e o da área de pedestre, formado por lajes de concreto, está mais impermeabilizado ($R=0,8$).

A sarjeta de drenagem em concreto, ilustrada na parte inferior direita da figura, apresenta assoreamento devido à presença de folhagem e areia. Algumas áreas desta bacia apresentam alagamento após as chuvas.

Sub-bacia B1 (1589,2 m² de área impermeabilizada)

Figura 55. Sub-bacia B1 (parte esquerda do estacionamento superior)



Há um divisor de águas na linha média do parking (linha azul): uma parte do escoamento é conduzida para a área permeável (jardim). A outra parte, correspondente à metade da superfície de captação do parking, escoar para as outras sub-bacias, por meio de uma sarjeta (parte superior direita da figura) e por meio de uma escada e rampa de acesso (parte superior esquerda da figura).

O piso de concreto apresenta rachaduras (coeficiente de deflúvio $R=0,6$).

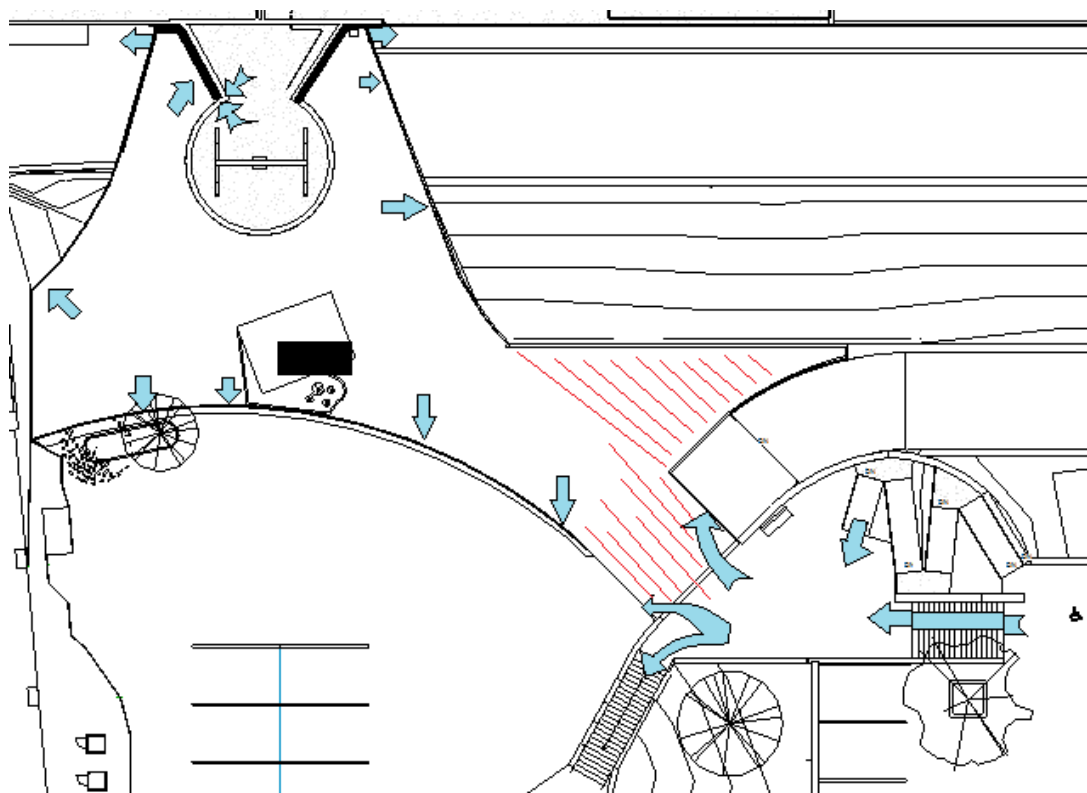
Área impermeabilizada da sub-bacia B1 que escoar para o jardim: 723,6 m²

Área impermeabilizada da sub-bacia B1 que escoar para a sarjeta (sub-bacia D1): 486,0 m²

Área impermeabilizada da sub-bacia B1 que escoar para a escada (sub-bacia B2): 379,6 m²

Sub-bacia B2 (592,6 m² de área impermeabilizada)

Figura 56. Sub-bacia B2



A área ralada com linhas vermelhas apresenta problemas de drenagem, com frequentes alagamentos. Após a construção da praça contemplada no projeto novo, a B2 será uma superfície com uma grande área de contribuição, pois a sub-bacia B3 irá desaguar nela. Este projeto contempla a construção de uma cobertura acima do parking (superfície B3) que será aproveitada para circulação e área de pedestres, numa cota mais elevada que a B2.

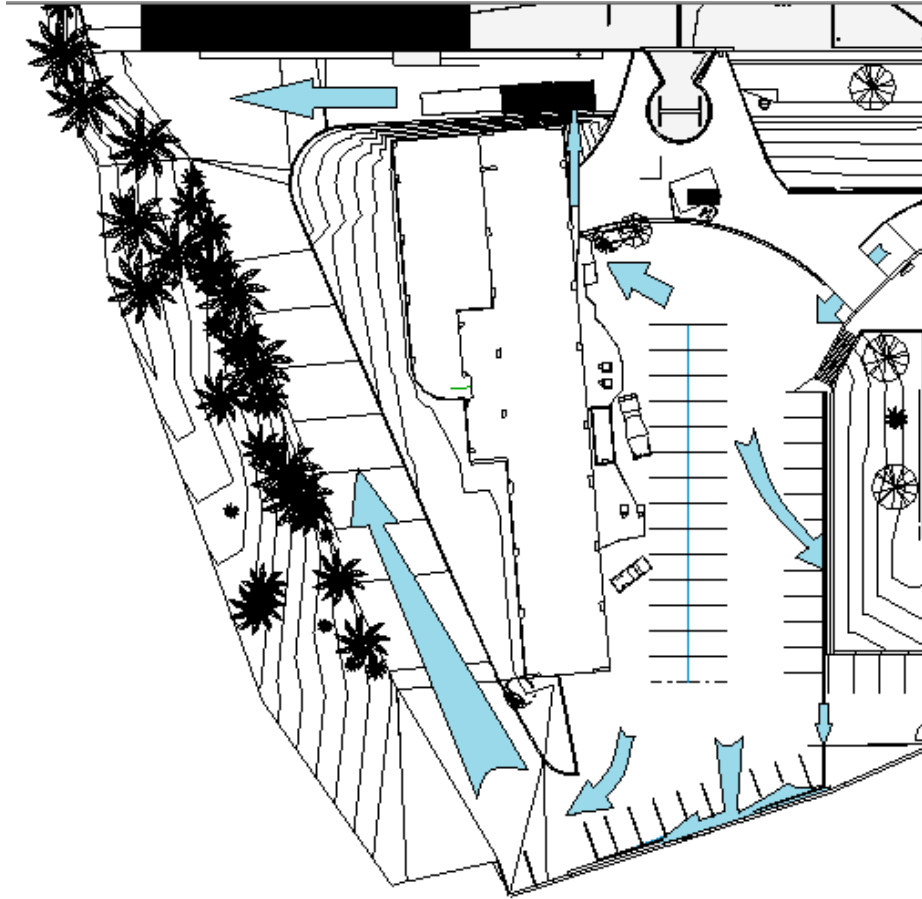
O piso está formado por concreto sobre de tela asfáltica impermeável. Apresenta poucas rachaduras e alta impermeabilidade. Embora, parte da superfície apresenta problemas de drenagem, retraindo água de chuva que depois é evaporada. Por estas razões, outorga-se um valor de $R=0,8$ para o coeficiente de deflúvio desta superfície.

Área da sub-bacia B2 que escoar para a sub-bacia B3: 385,2 m²

Área da sub-bacia B2 que escoar para a sub-bacia D3: 207,4 m²

Sub-bacia B3 (4320 m² de área impermeabilizada)

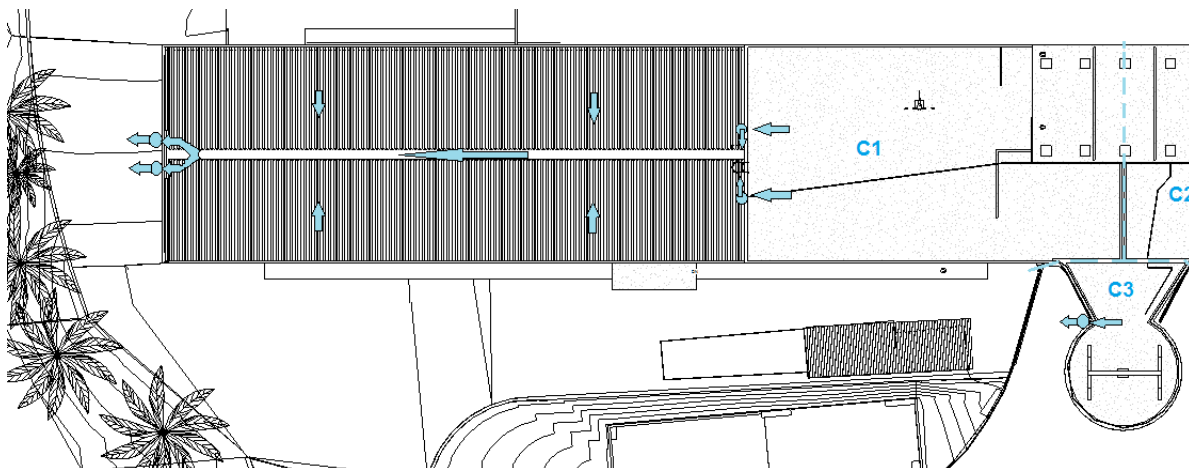
Figura 57. Sub-bacia B3. No centro da imagem, o prédio novo em construção.



Á área de estacionamento da parte alta é responsável pela metade (2394 m²) da área de contribuição desta sub-bacia. Apresenta sarjetas de drenagem que escoam as águas pluviais para a estrada que, beirando o prédio novo em construção, desce até os laboratórios e até o estacionamento inferior, numa cota 12 m mais baixa. Outra parte da chuva que cai sobre o estacionamento superior escoam por um espaço estreito (1m de largura) entre o prédio novo e a plataforma que dá acesso ao prédio principal (sub-bacia B2). A inclinação nesta via de escoamento é pronunciada, o que pode provocar elevada velocidade das águas com erosão no caso de fortes chuvas. Estas duas vias de escoamento juntam-se águas abaixo nos poços de visita localizados na fachada lateral do prédio principal, onde recebem os tubos de descida da cobertura C1 e, posteriormente, todo o escoamento restante da Escola Politécnica.

Coberturas do prédio principal: sub-bacias C1, C2, C3, C4, C5 e C6. 4627,5 m² de área impermeabilizada

Figura 58. Drenagem das coberturas C1 e C3.



As águas pluviais da cobertura C1 escoam por meio de dois tubos de descida em F^oF^o situados na fachada lateral do prédio. As da cobertura C3 escoam para a sub-bacia B2 por meio de um tubo PVC DN 150.

Figura 59. Telhados de fibro-cimento da cobertura C1, no andar 8.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2012). No fundo da imagem, a laje de concreto sobre a qual está apoiado o reservatório superior e as antenas de telecomunicação (andar cobertura).

Figura 60. Escoamento das águas pluviais das coberturas C2 e C4 por meio de tubos de descida interiores ao prédio.

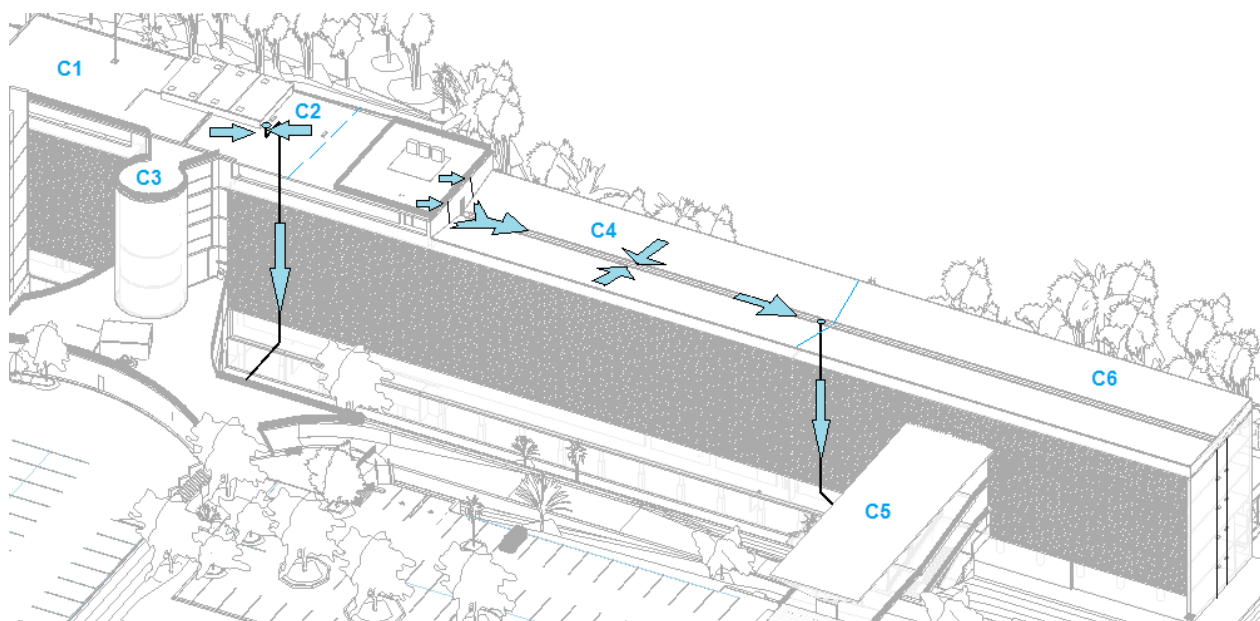


Figura 61. Escoamento das águas pluviais da cobertura C6 por meio de tubos de descida no exterior da fachada lateral do prédio (dois tubos em F°F°).

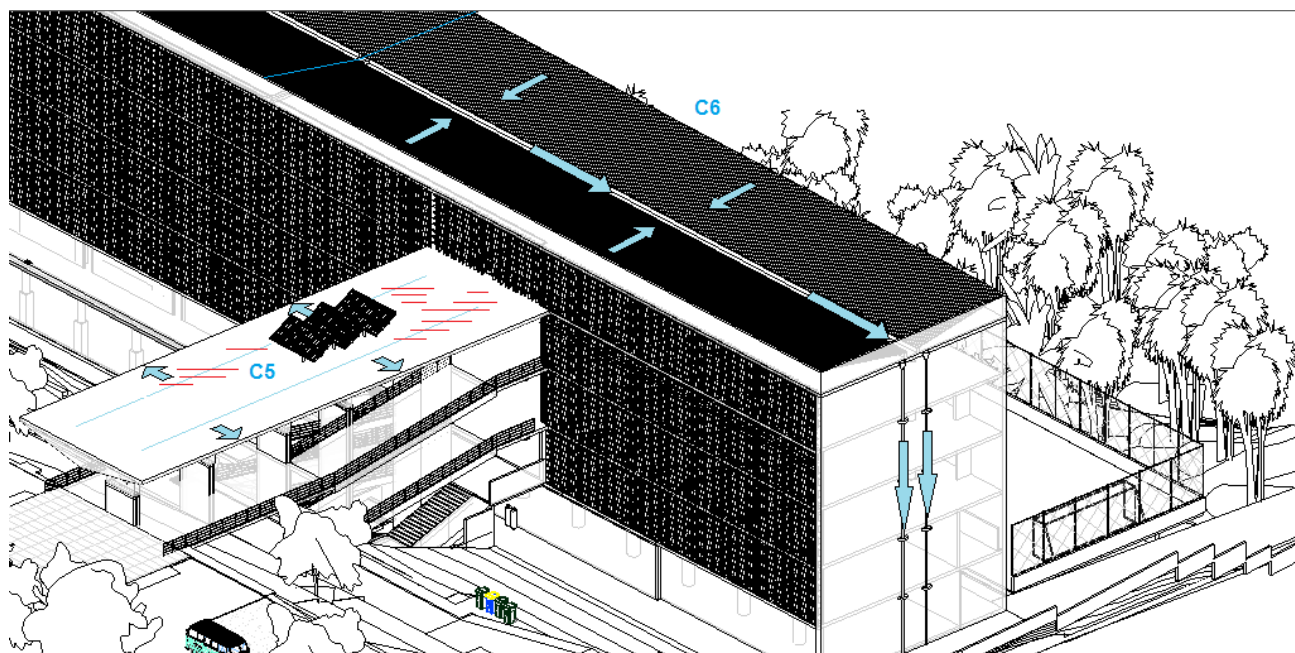


Figura 62. Telhados de fibro-cimento das coberturas C4 e C6, no andar 8, e laje de concreto sobre as escadarias da entrada principal (cobertura C5).



Fonte: arquivo pessoal do autor (2011).

Tabela 7 : Dados das coberturas do prédio principal da EP-UFBA

Cobertura	Coeficiente de deflúvio	área (m ²)	Bacia para a qual escoam
C1	R = 0,85	966,0 (558,0 de telhado)	B3
C2	R = 0,80	221,9	D5
C3	R = 0,80	75,7	B2
C4	R = 0,85	918,4 (640,5 de telhado)	D5
C5	R = 0,90	739,5 (700,0 de telhado)	D4
C6	R = 0,75	361,8	D2

Sub-bacias D1, D2 e D3. 740,0 m² de área impermeabilizada

Figura 63. Escoamento das bacias D1, D2 e D3

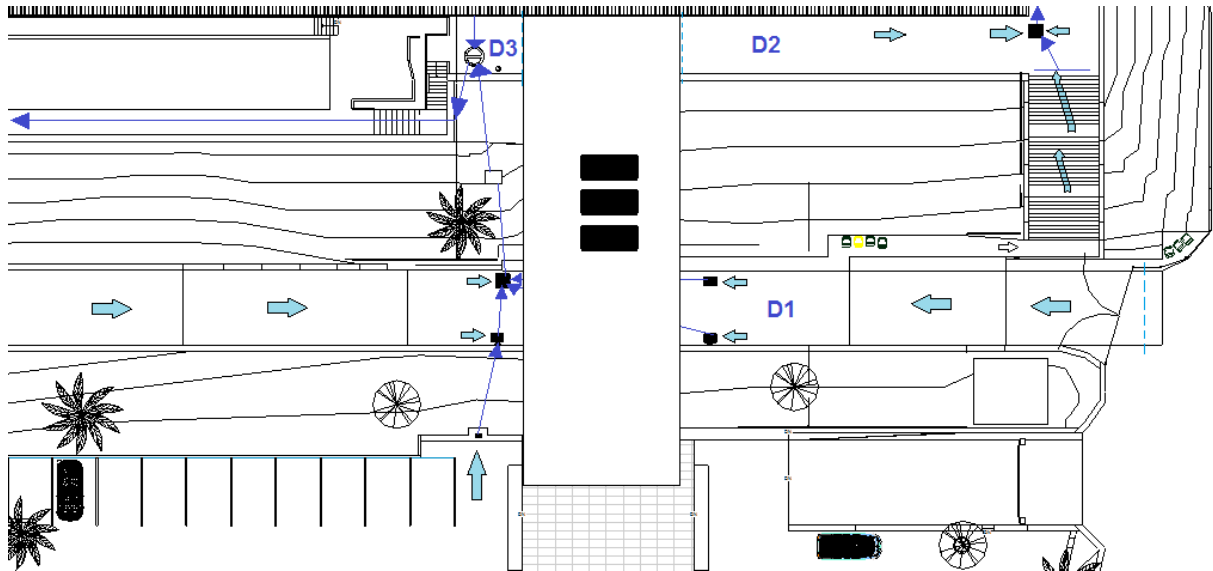
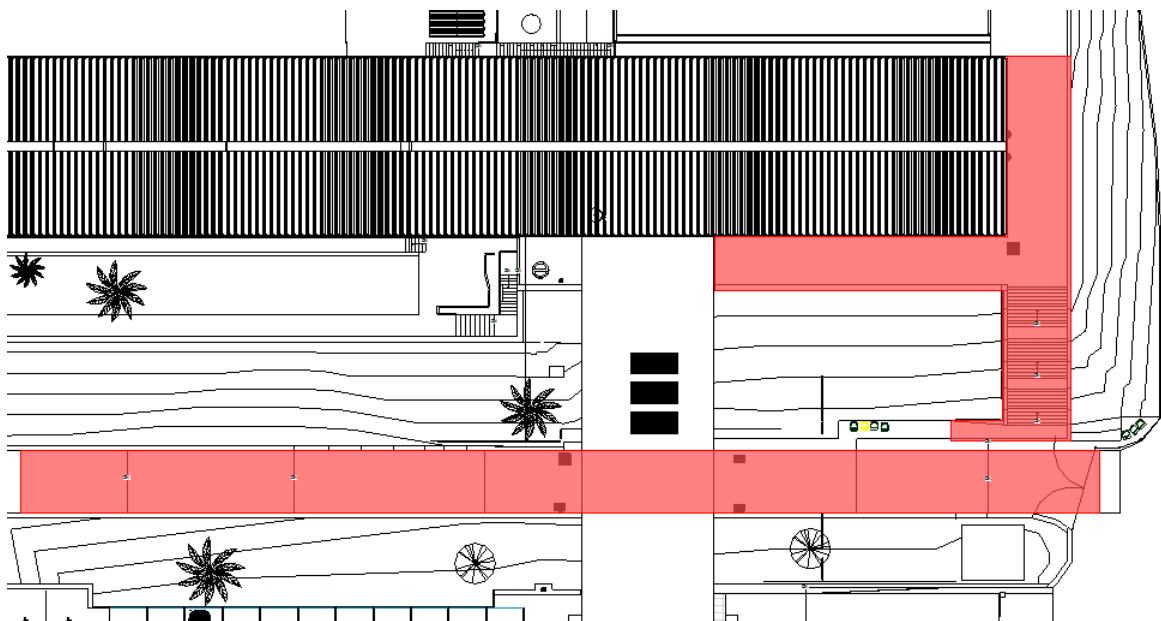


Figura 64. Destacadas na cor vermelha, as áreas das sub-bacias D1(424 m²) e D2 (293 m²)



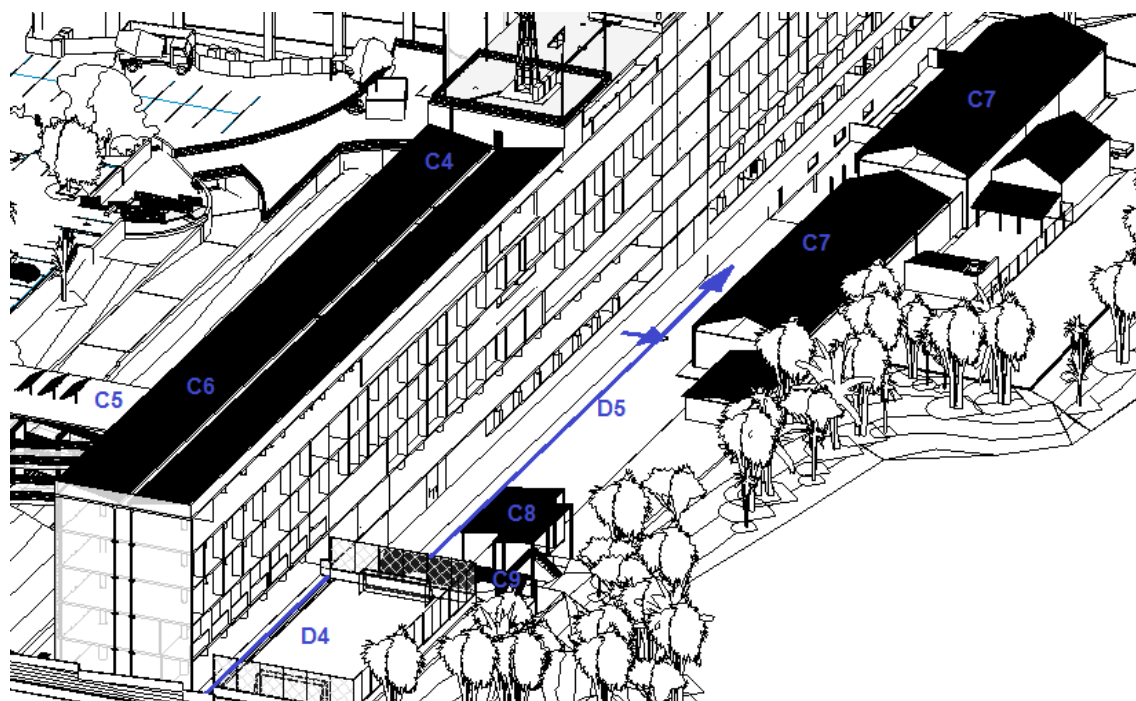
A sub-bacia D1 concentra toda a vazão captada nela e parte da vazão escoada da bacia B1 por uma sarjeta situada 4 m por encima, em um único PV junto à escadaria. Deste PV-sarjeta, que possui como tampa uma grelha, desce uma linha de dreno para um PV cilíndrico (andar 3), 6 metros embaixo

da cota do PV-sarjeta. Desta forma, o PV cilíndrico final recebe as águas pluviais da cobertura C4, da sub-bacia D1 e parte da B1, além de suas áreas anexas (sub-bacia D3, com 20 m²).

A bacia D2 concentra todas suas águas pluviais em um único PV-sarjeta (a tampa é uma grelha de concreto) e manda em direção para a bacia D4 e posteriormente para o pátio dos laboratórios.

Coberturas dos laboratórios: sub-bacias C7, C8 biodiesel, C9. 1344,2 m² de área impermeabilizada

Figura 65. Vista da parte traseira do prédio principal da EP-UFBA.



Esta vista mostra: quadra de esporte (D4), pátio dos laboratórios, galpões dos laboratórios (C7) e plantas piloto (C8 e C9).

A rede de drenagem atravessa longitudinalmente o pátio dos laboratórios. Esta rede tem início na sub-bacia D2 (parte dianteira do prédio) e recebe as águas pluviais da cobertura C6, que descem pela lateral do prédio por meio de dois tubos de descida (parte inferior esquerda da imagem). Seguidamente, esta linha de drenagem atravessa uma quadra esportiva (D4). Esta área totalmente impermeabilizada (477 m², piso de concreto, novo, R=0,9) drena em parte para esta linha, e outra parte em direção para a área arborizada anexa.

Logo após a quadra, esta linha desce 8 m até a cota das plantas piloto de biodiesel (C9) e biogás (C8), as quais apresentam coberturas em telha metálica que escoam as águas pluviais para o interior do pátio (D5). Na planta de biodiesel são estocados tanques de óleo vegetal, de gorduras residuais e de biodiesel, e há manchas destes contaminantes no piso das imediações, o que pode comprometer a qualidade das águas pluviais recolhidas nestas superfícies.

A bacia D5 possui uma superfície recoberta por areia e brita, permeável embora apresenta áreas alagáveis. Recebe as contribuições dos telhados das plantas piloto e parte dos galpões de laboratórios (C7). A maior parte das águas que recebe infiltra-se no solo, e a parte restante passa para a rede de drenagem que atravessa o pátio.

Figura 66. Pátio dos laboratórios, na altura da planta piloto de biogás.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2011). Ao fundo, a entrada principal dos laboratórios, onde está o PV final e a escada drenante. Observam-se áreas empoçadas no centro da imagem, assim como valas abertas pelas quais infiltra-se água para a linha de drenagem que percorre o pátio.

Na área central do pátio, há um PV onde esta linha de drenagem recebe a linha que, atravessando o prédio principal, traz uma importante contribuição com as águas pluviais das coberturas C2, C4, sub-bacias D1, D3 e parte da B1.

Por último, após atravessar o pátio, esta linha de drenagem junta-se com outra, que transporta as vazões da bacia B3 e cobertura C1, num PV final junto da escada drenante que desce a ladeira em

direção à Ondina (parte baixa do Campus).

Figura 67. Vista superior do prédio principal e laboratórios mostrando as setas de escoamento, as áreas alagáveis (linhas vermelhas) e a rede de drenagem.

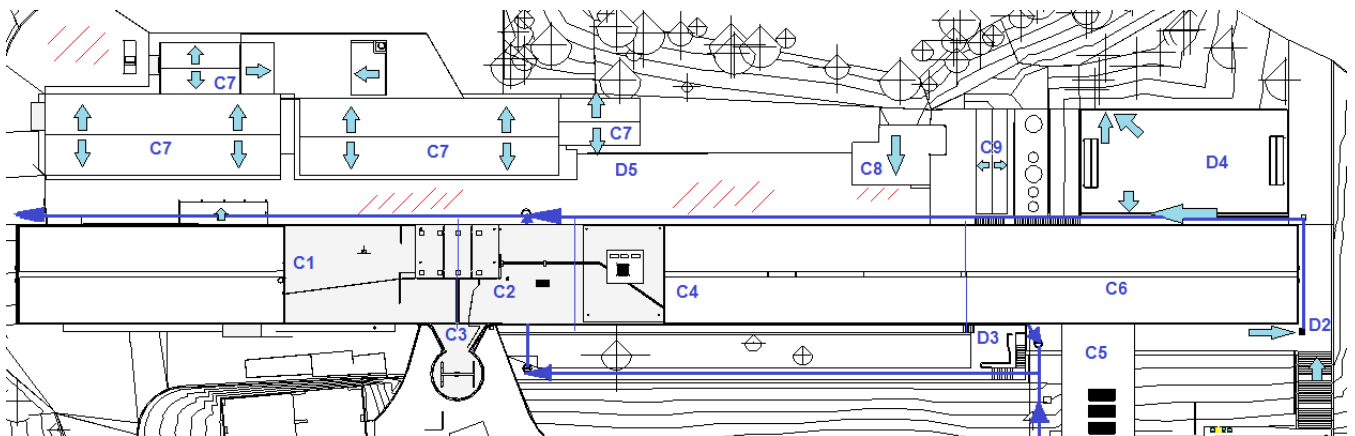
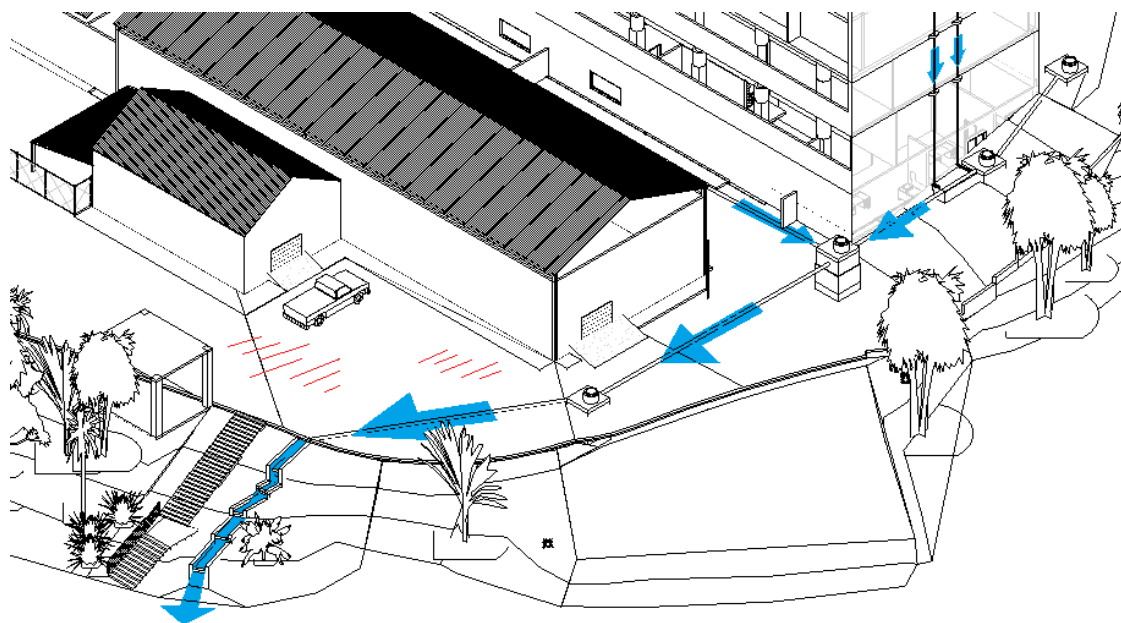


Tabela 8 : Dados das coberturas dos laboratórios e plantas piloto da EP-UFBA

Cobertura	Coeficiente de deflúvio	área (m ²)	Bacia para a qual escoam
C7	R = 0,90	1166,0	D5
C8 (biogás)	R = 0,95	106,0	D5
C9 (biodiesel)	R = 0,95	72,2	D5

União da Bacia B e da D e escada drenante

Figura 68. Junção das duas bacias de drenagem principais (D e B) no poço de visita situado na entrada do pátio dos laboratórios.



Esta área também recebe contribuição das coberturas C7 e C1. Raladas em vermelho, as áreas alagáveis no estacionamento baixo.

Figura 69. Vistas do bueiro de saída e da escada drenante que percorre a ladeira em direção à parte baixa do Campus (bairro de Ondina).



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Figura 70. Fim da escada drenante. Campus de Ondina.



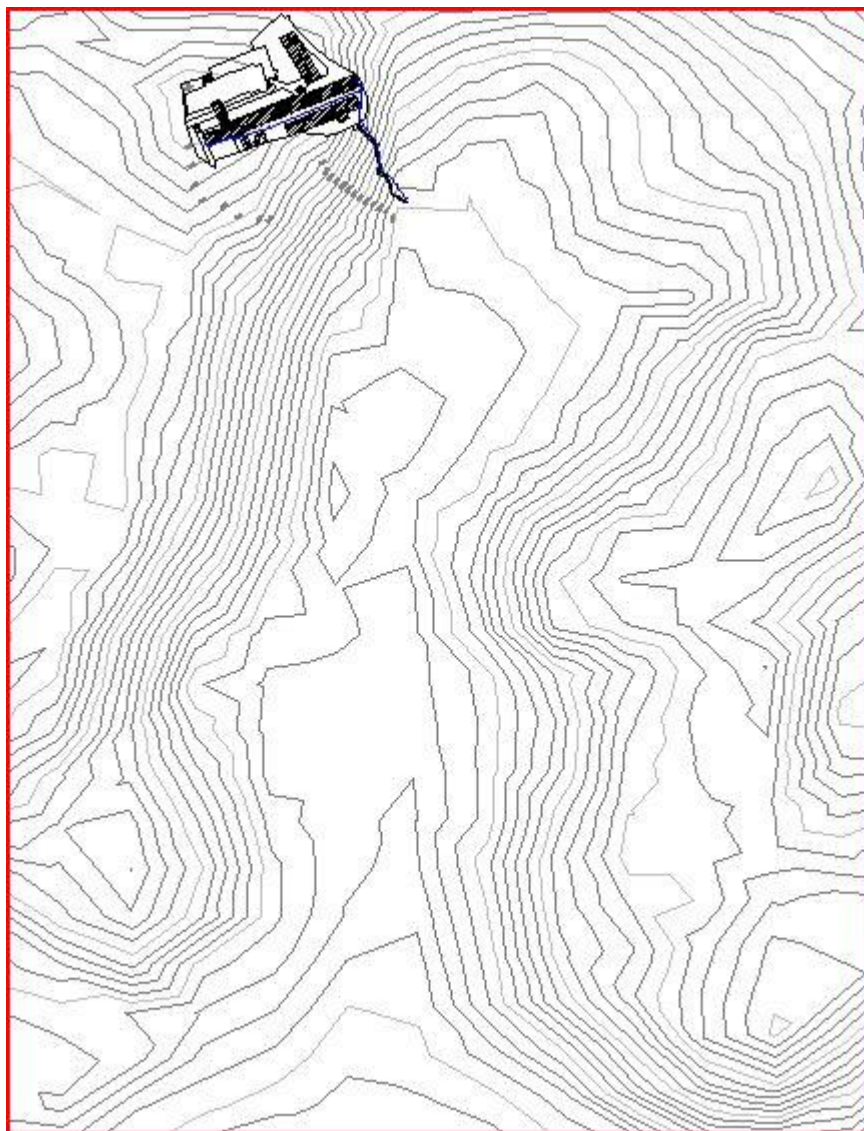
Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Figura 71. Canal de drenagem que atravessa o Campus de Ondina - UFBA



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Figura 72. Curvas de nível da bacia de drenagem final.



Fonte da topografia: Google Earth, 2013. As águas pluviais do local da EP-UFBA atravessam o Campus de Ondina, situado num vale entre o Alto de São Lázaro (esquerda) e o Alto do Zoológico (direita) até chegar ao litoral do Bairro de Ondina (parte inferior da imagem).

APÊNDICE II

CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA NO PRÉDIO

**AII.1 – PERFIS DE CONSUMO DE ÁGUA NO PRÉDIO: MODELAGEM DA
CURVA DE DEMANDA**

AII.2 – CADASTRO DE USOS NÃO POTÁVEIS DE ÁGUA NO PRÉDIO

AII.1 – PERFIS DE CONSUMO DE ÁGUA NO PRÉDIO: MODELAGEM DA CURVA DE DEMANDA

A Escola Politécnica de Salvador (EP-UFBA) conta com aproximadamente 2000 alunos matriculados e uma população equivalente, entre funcionários e alunos, de 1000 pessoas (NAKAGAWA, 2009).

Além de estudar o perfil anual de demanda (curva ao longo dos 12 meses), para caracterizar a demanda de água no prédio resulta interessante conhecer também o perfil diário (curva ao longo das 24h).

O monitoramento do hidrômetro principal de entrada, com uma base de dados de registros diários que se remonta até 2005, permite modelar a curva sazonal (variação mensal ao longo do ano) da demanda de água no prédio. Isto será feito de três maneiras diferentes: usando a média ponderada, um modelo de redes neurais e um modelo com lógica *fuzzy*.

Diferentemente, o monitoramento do nível do reservatório superior do prédio permite traçar a curva diária de demanda (variação horária ao longo do dia) e comparar os perfis de demanda de diferentes dias da semana (por exemplo, comparar o perfil de demanda de um domingo ou feriado com o perfil de um dia laboral).

No capítulo seguinte será calculada a percentagem de água consumida que é destinada para fins não potáveis, enquanto neste capítulo será caracterizada a curva de variação da demanda total (potável + não potável) do prédio. Esta demanda foi medida de duas formas diferentes:

- Instalação de um medidor de nível no reservatório superior, e posterior cálculo do volume consumido (saída) conhecidas as dimensões do reservatório e a vazão da bomba (entrada). Consumo. Período de medição: 2 de Novembro de 2012 a 22 de Janeiro de 2013.
- Dados de consumo registrados no hidrômetro principal: leituras feitas pela equipe do Programa Agupura (AGUAPURA VIANET, 2013) e pela EMBASA (conta mensal de água), que conformam uma série histórica de dados de demanda.

Base de dados da demanda de água no prédio estudado.

O Programa Aguapura – Uso Racional de Água e Energia na UFBA monitora o consumo de água do prédio, usando leitura direta do hidrômetro principal de entrada: um hidrômetro volumétrico com uma precisão de $\pm 5\%$. Desde Janeiro de 2005 a leitura diária deste hidrômetro é registrada e os dados lançados no sistema Aguapura ViaNet, disponibilizando-os na internet. Desta forma, pode se fazer um seguimento da demanda diária de água do prédio (m^3/dia), o que permite analisar as tendências e padrões de consumo, detectar vazamentos (indicados por valores anormalmente elevados) e conferir a eficiência de programas de uso racional de água. Na base de dados gerada, constata-se uma progressiva redução da quantidade de água demandada por dia, devida fundamentalmente à troca dos equipamentos hidro-sanitários, que foram substituídos por outros mais modernos e de baixo consumo. A demanda média em 2005 foi de $24,0 \text{ m}^3/\text{dia}$; em 2013 de $19,8 \text{ m}^3/\text{dia}$.

Esta série histórica de demanda diária pode ser contrastada com a base de dados pluviométricos, para estudar a possível correlação entre ambas as variáveis, o que será feito no Apêndice II.2 desta dissertação.

Esta série de dados também pode ser usada como base para modelar uma curva de demanda de água do prédio, isto é, uma curva que represente o perfil de variação da demanda ao longo do tempo. Esta curva indicaria, para cada mês do ano, o correspondente valor da demanda de água esperada (m^3/dia).

A série histórica de dados de demanda abrange desde Janeiro de 2005 até Agosto de 2013. Por se tratar de um prédio público cuja ocupação é regida por um calendário acadêmico definido, em principio é de esperar uma curva de variação anual bem definida, com dois picos de consumo anuais durante o período de maior ocupação do prédio (1 pico por semestre acadêmico) e dois períodos de mínimo consumo durante os recessos entre semestres.

No caso do calendário acadêmico não sofrer alterações durante os anos considerados, a curva de demanda seria praticamente a mesma para cada ano, variando apenas em magnitude (devido ao aumento/diminuição de alunos matriculados ou à melhora dos equipamentos consumidores de água, como foi o caso do prédio estudado). Adimensionalizando os valores obtidos para cada mês entre o valor máximo anual registrado, consegue-se minimizar o efeito desta variação em magnitude e obter uma curva adimensional que, variando entre 0 e 1, represente a variabilidade da demanda de água no

prédio ao longo dos 12 meses do ano. Para o prédio estudado, a Escola Politécnica de Salvador, a variabilidade média durante os últimos anos foi de 28%. Isto indica que este prédio possui a maior parte da sua demanda de água fixa, que se vê afetada por outra parte variável, de forma que a depender de cada mês do ano a demanda total pode oscilar até um 28% por acima ou por baixo do valor médio.

Embora o período histórico de consumo considerado, os últimos 8 anos e meio, resulta suficiente para caracterizar a demanda de um prédio destas características, a representatividade desta série histórica foi afetada por consumos esporádicos de água fora do padrão normal do prédio: períodos de baixa ocupação devido a greves de estudantes e funcionários e períodos de reforma do prédio nos quais foi usada água para fins de construção. Para minimizar seu efeito e reduzir as incertezas, estes dados de consumo anormais foram retirados da análise.

Caracterização da curva de demanda do prédio mediante a instalação de um medidor de nível no reservatório superior do prédio.

Figura 73. Medidor de nível usado na experiência: *Levellogger Júnior* 3000L da Solinst.



No prédio estudado, a curva de demanda diária de água foi caracterizada mediante a instalação de um medidor de nível com *data logger* no reservatório superior de água.

O processo de medição consiste em que, conhecido o ponto de trabalho e o tempo de funcionamento da bomba (entrada de água no reservatório) e o volume deste, pode-se calcular a vazão de saída do reservatório superior, a qual será igual à demanda de água do prédio mais eventuais vazamentos internos. Este equipamento registra medições do nível do reservatório a cada 5 minutos, o que permite traçar a curva diária de demanda de água: a variação da demanda ao longo das 24h do dia.

Incerteza do medidor de nível

O medidor foi um sensor de pressão monolítico de silício piezoresistivo com uma precisão de $\pm 0,1\%$.

$$E_1 = \pm 0,1\% \text{ do fundo da escala} = \pm 10^{-4} \text{ mca.}$$

Ele mede a pressão total a qual está submetido o instrumento. Esta pressão é a altura da coluna de água acima do *Levellogger* (até a superfície livre do fluído água) mais a pressão que o fluído ar exerce: a pressão atmosférica.

Sendo o ar um fluído com mil vezes menor densidade que a água, a pressão média que a atmosfera exerce sobre um ponto no nível do mar equivale a uns 10,15 mca (metros de coluna de água). Se um *Levellogger* submerso num tanque de água indica 11,15 mca, a altura do nível do tanque será de aproximadamente 1 metro.

Portanto, além da precisão do sensor de pressão, é necessário considerar a calibração da pressão atmosférica no instante e lugar de medição, que deverá ser subtraída da medição do sensor para calcular a pressão da coluna de água.

A pressão atmosférica decresce com a altitude e varia ao longo do dia devido ao deslocamento das massas de ar e fenômenos atmosféricos. Durante os 19 dias consecutivos de medição do nível do Reservatório Superior da EP-UFBA, a pressão atmosférica variou um máximo de 0,5% com respeito a seu valor médio de 10,15 mca segundo medições da estação meteorológica A401 de Ondina (INMET, 2013).

O fabricante oferece a possibilidade de compensar a leitura de pressão do *Levellogger* com outro dispositivo denominado *Barologger*. Este dispositivo mede a pressão atmosférica com uma precisão de $\pm 0,0051$ mca mediante um sensor piezoresistivo, e armazena seu valor a cada instante. Posteriormente, o programa informático de controle do *Levellogger* descarrega os dados de ambos os dispositivos e subtrai a pressão atmosférica da pressão absoluta, para cada instante.

Para a Escola Politécnica e outros edifícios do campus UFBA – Ondina e Federação, a existência de uma estação meteorológica nas proximidades dispensa o uso do *Barologger*. A estação meteorológica automática A401 - Ondina está localizada a 400m da Escola Politécnica, no alto do Zoológico, e mede a pressão atmosférica com uma precisão de $\pm 0,0306$ mca (sensor monolítico de silício piezoresistivo). A cada hora em ponto, três valores da pressão são enviados para o satélite: a pressão instantânea e os valores máximo e mínimo registrados durante a última hora. O INMET

disponibiliza estes dados no seu site, gratuitamente, para qualquer estação meteorológica do país e com uma base de dados que abrange extensos períodos de tempo. Basta descarregar os dados da pressão atmosférica no site e fazer a subtração de cada valor de pressão absoluta medida pelo *Levellogger* em uma planilha de Excel ou mediante o programa informático de controle.

Devido à proximidade da estação meteorológica (400m) e à pouca diferencia entre sua cota e a do reservatório (uns 50 m) será desconsiderada a incerteza associada à diferencia entre as pressões atmosféricas de ambos os pontos. A variabilidade local da pressão com a distância e a altura, neste caso, é menor que a sensibilidade dos sensores de pressão utilizados e que o erro cometido por eles.

$$E_2 = E_{\text{sensor Patm}} = \pm 3 \text{ hPa} = \pm 0,0306 \text{ mca}$$

Após a precisão do sensor e a calibração com a pressão atmosférica, a terceira fonte de incerteza é o tratamento matemático dos dados coletados. Para cada hora em ponto, dispõe-se de dados da pressão atmosférica nesse instante. O valor "instantâneo" usado em estes relatórios meteorológicos é a média de um minuto, com amostragem a cada 5 segundos. Para esses casos a medida tem a precisão do sensor da estação meteorológica, mais a incerteza derivada da variabilidade da pressão durante o minuto de medição, pois está sendo considerada uma pressão constante de valor igual à média ao longo de cada minuto.

Para outros instantes (entre os minutos 01 e 59 de cada hora), o valor disponível da pressão atmosférica será a média aritmética entre os valores máximo e mínimo registrados.

Ao calcular a média aritmética, e usar esse valor médio como a pressão atmosférica em cada um dos instantes do intervalo de medição (uma hora), é inserida de novo uma nova fonte de incerteza, pois a variável a ser medida varia com o tempo.

A variação da pressão atmosférica (desvio máximo do valor da média horária) não ultrapassou o 0,055% do valor da média de cada hora, durante os 19 dias que duraram as medições. Este valor, o desvio máximo da média, foi de $\pm 0,0057 \text{ mca}$ e equivale à incerteza acrescentada às medições de pressão atmosférica ao calcular o valor médio de cada hora, para o conjunto de medições realizadas.

$$E_3 = \pm 0,0057 \text{ mca}$$

Considerando estas três fontes de incerteza, o erro cometido pelo medidor de nível é (eq 3):

$$P_{\text{coluna de água}} = P_{\text{absoluta}} [\pm E_1] - P_{\text{atmosférica}} [\pm E_2 \pm E_3]$$

$$P_{\text{coluna de água}} = P_{\text{absoluta}} [\pm 0,0001 \text{ mca}] - 10,34 [\pm 0,0363 \text{ mca}]$$

eq 3 : cálculo das incertezas do medidor de nível *Levellogger*

O resultado apresenta uma incerteza no processo de medição do nível do reservatório de $\pm 3,64$ cm. O nível do reservatório oscila entre 0 e 59 cm, portanto esta incerteza corresponde a 6,17% do rango de medida.

Outras considerações relativas à incerteza deste medidor:

- A quarta e última fonte de incerteza considerada é a variação da temperatura do fluido, que em condições normais depende só da variação da temperatura ambiental. A variação da temperatura faz com que o fluido varie sua densidade, dilatando-se ou contraindo-se, variando o volume que ocupa e portanto o nível do reservatório, que é a variável final que pretende-se medir. É por esta razão que o *Levellogger* está equipado com um sensor de temperatura, de platino RTD, com precisão de $\pm 0.1^\circ\text{C}$.
- O relógio interno do *Levellogger* possui uma precisão de ± 1 minuto / ano.
- Para fluidos com densidade distinta da água, o programa informático de controle permite calcular quais seriam os valores de pressão correspondentes (qual o nível do reservatório se o fluido for outro) multiplicando por uma constante de densidade relativa água/fluido. O uso desta opção acarreta uma nova fonte de incerteza, associada à medição dessa densidade relativa.

Medição da variação do nível no reservatório superior: Metodologia

Figura 74. Chegada da tubulação de recalque de água no reservatório superior.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2011).

A continuação, apresentam-se os dados da dinâmica de funcionamento deste reservatório:

Duração do intervalo de bombeamento (desde que a chave-bóia atinge o nível mínimo predefinido até que volta ao nível máximo): 25 minutos

$$H_{\max} = 55 \text{ cm} \quad (V_{\max} = 41,5 \text{ m}^3)$$

$$H_{\min} = 3,0 \text{ cm} \quad (\text{reserva incêndio})$$

$$\text{Relação volume/área do reservatório: } V/h \approx A = 75,45 \text{ m}^3/\text{m} \quad (\text{m}^2)$$

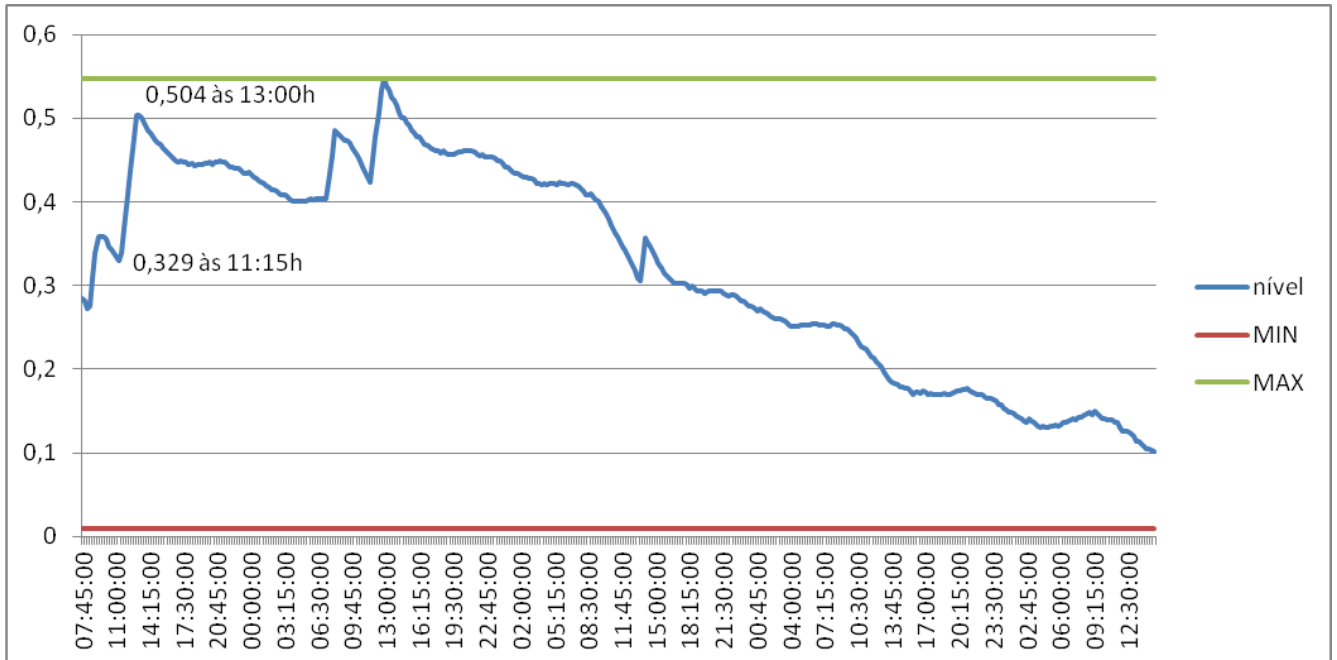
$$\text{Vazão da bomba: } 10,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Incremento da altura da lamina d'água durante o bombeamento:

$$Q \approx 10,5 \text{ m}^3/\text{h} = 0,175 \text{ m}^3/\text{min} \quad \rightarrow \quad 0,16 \text{ cm/min}$$

Esta dinâmica é ilustrada na Figura 75 a seguir, correspondente ao monitoramento do nível do reservatório superior durante 4 dias seguidos.

Figura 75. Variação do nível do reservatório superior.



Na Figura 75, observam-se 5 bombeamentos, um dos quais atingiu o nível do extravasor (com as consequentes perdas de água) devido a uma pane na chave-bóia de comando. Após o quinto bombeamento, a chave bóia desligou do sistema e não voltou a dar sinal de partida para a bomba. Como consequência, o reservatório esvaziou e faltou água no prédio.

A curva de variação de nível, ilustrada na figura 75, é a suma de três efeitos: entrada (água bombeada), saída (água consumida) e a incerteza cometida pelo aumento da pressão ambiental, que se reflete em pequenas oscilações no nível indicado pelo medidor.

Para obter a curva que mostra o descenso do nível no reservatório devido ao consumo de água, é preciso subtrair o efeito do bombeamento. Mediante este artifício de cálculo, conseguimos uma curva de nível que desconsidere o aumento de nível produzido pela entrada de água. Esta curva mostra o consumo de água do prédio ao longo do dia, e já que o consumo é igual à demanda mais vazamentos internos no prédio, podemos desta forma traçar a curva de demanda diária.

Para a subtração do aumento do nível devido ao bombeamento é preciso conhecer “t”, a duração do bombeamento, que em situações normais de funcionamento é de 25 minutos. Durante o tempo t de bombeamento, subtrai-se da curva de nível total (medida pelo *Levellogger*):

- O aumento de nível devido ao bombeamento, “ $\Delta h_{\text{bombeamento}}$ ”.

Usa-se a vazão da bomba, $Q \approx 10,5 \text{ m}^3/\text{h}$ e a relação volume/área do reservatório: $V/h \approx A = 75,45 \text{ m}^3/\text{m} (\text{m}^2)$

$$\Delta h_{\text{bombeamento}} = 0,16 \text{ cm/ minuto de bombeamento}$$

- O consumo de água no prédio durante esses t minutos de bombeamento, que provoca um descenso do nível de valor “ $\Delta h_{\text{consumo}}$ ”.

Aproxima-se este valor pelo consumo médio dos 30 min anteriores

$$\Delta h_{\text{consumo}} = \dots \text{ m/min}$$

Desta forma, a curva que mostra o descenso do nível no reservatório devido ao consumo de água está formada pela sobreposição de duas curvas:

1. A curva de variação de nível registrada pelo medidor, quando não há bombeamento.
2. Uma curva que aproxima o descenso do nível no reservatório devido ao consumo de água no intervalo t de bombeamento:

$$h = h_{t1} - (\Delta h_{\text{bombeamento}} + \Delta h_{\text{consumo}}) \cdot t$$

onde:

h : nível do reservatório a cada instante

h_{t1} : nível do reservatório no instante do início do bombeamento

t : duração do bombeamento

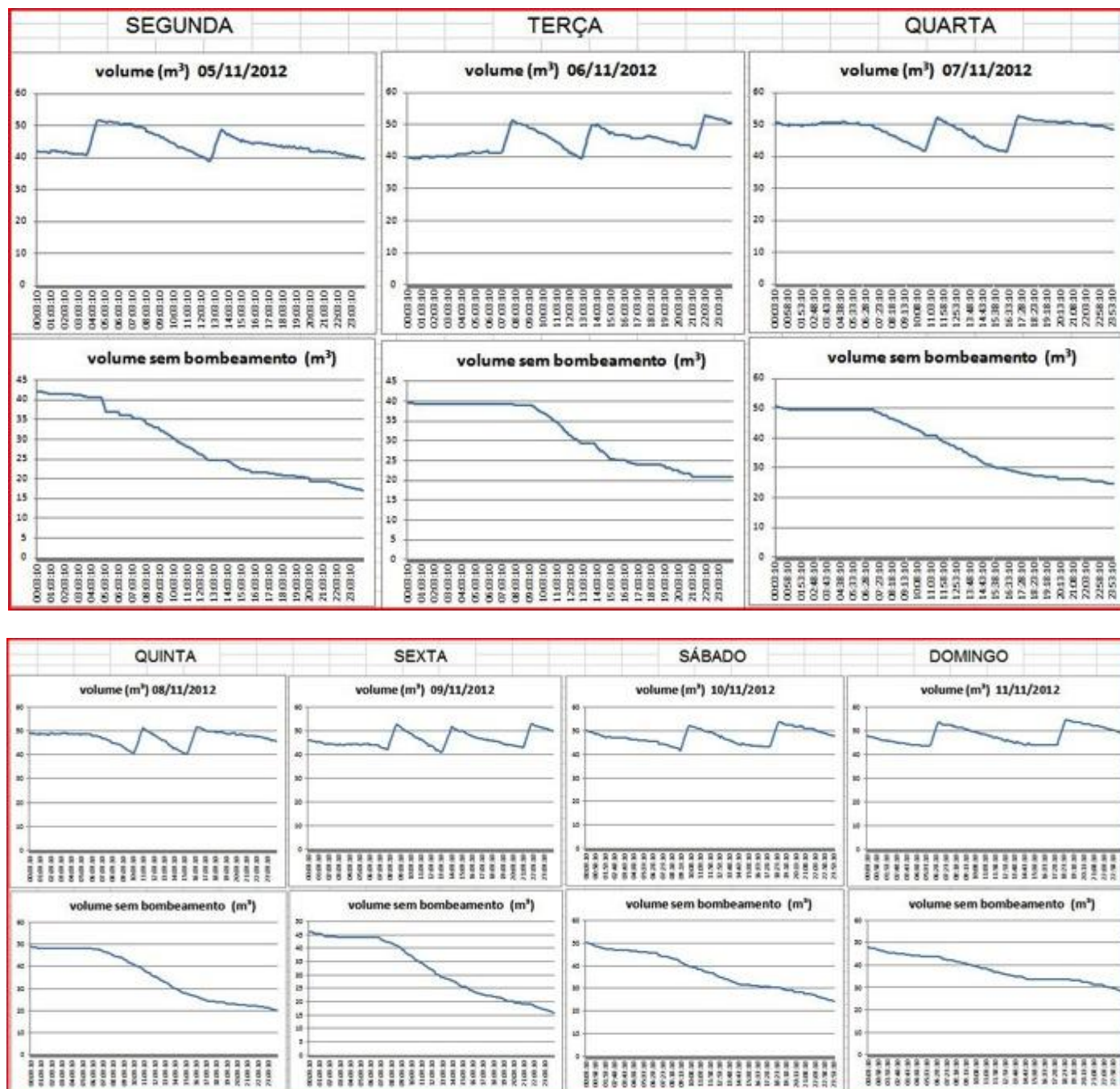
Este processo é ilustrado graficamente na figura 76 a seguir:

Figura 76. Construção da curva de demanda do prédio, subtraindo do nível do reservatório o acréscimo do nível devido ao bombeamento e o consumo durante o tempo de bombeamento.



Resultados do monitoramento do nível no reservatório superior: curvas de variação diária da demanda.

Figura 77. Gráficas do volume armazenado no reservatório superior, durante sete dias consecutivos.



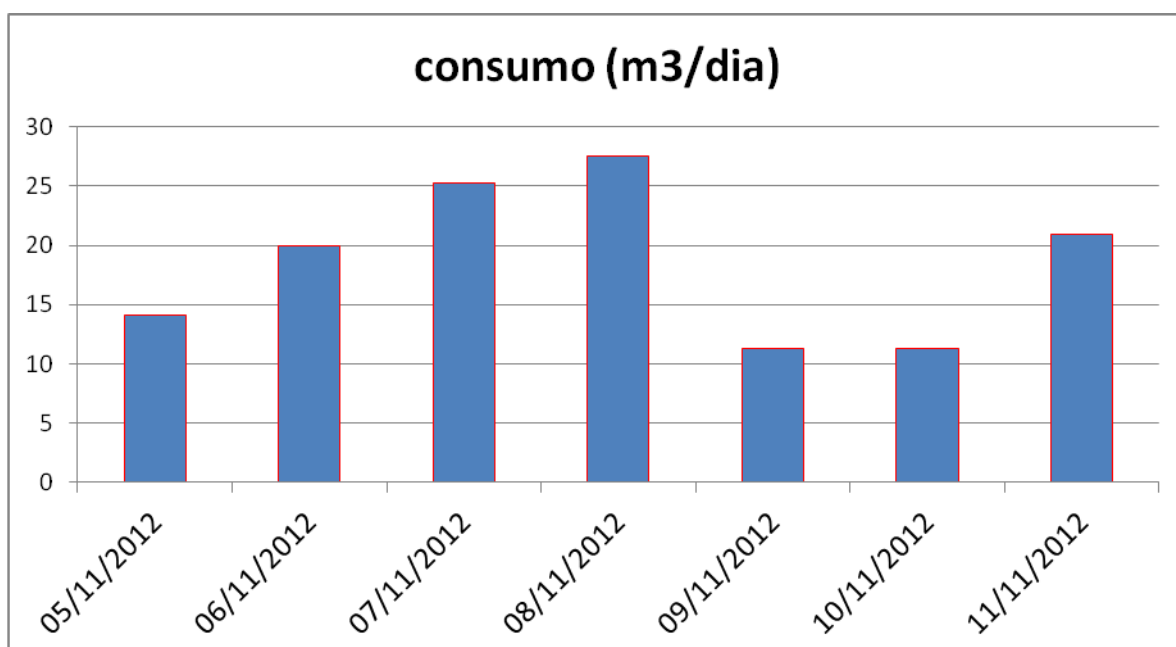
A gráfica de “volume sem bombeamento” resulta de subtrair da gráfica “volume” o volume bombeado, segundo a metodologia apresentada na Figura 76.

As gráficas de variação de nível mostram de dois a três bombeamentos por dia. Nas gráficas, é fácil identificar os pontos de partida e parada das bombas, de acordo com o nível detectado pelas chaves-bóia. A semana considerada apresentou-se sem incidências (vazamentos, panes, etc) com um funcionamento normal do sistema de bombeamento.

Já nas curvas de “volume sem bombeamento” detectaram-se períodos de demanda nula (entre meia noite e as 06h da manhã) e períodos de rápido descenso do volume armazenado, o que se corresponde com picos de demanda nos períodos centrais do dia. O consumo continuado e de baixa intensidade no domingo poderia indicar um vazamento, o que não foi confirmado.

Por outra parte, ao comparar as gráficas da Figura 77 com os dados do volume consumido do hidrômetro principal (Figura 78 a seguir) fica ilustrado por que é mais adequado o monitoramento do nível do reservatório superior para caracterizar a demanda diária do prédio.

Figura 78. Dados do hidrômetro principal de entrada, para a semana considerada.



Medição da variação do nível no reservatório inferior

O monitoramento da variação do nível de água no reservatório inferior do prédio não permite traçar a curva de demanda diária de água, ao contrário do que acontece no reservatório superior. Embora, oferece informação importante sobre a dinâmica do sistema hidráulico do prédio, e permite fechar a análise deste sistema composto por: hidrômetro de entrada, reservatório inferior, bomba e reservatório superior.

Como resultado imediato deste monitoramento, foram estabelecidas as dimensões do reservatório inferior. Assim, da planta do prédio era conhecida a área que foi destinada para o reservatório inferior, embora não havia dados sobre qual a altura máxima da lamina de água, o que multiplicado vezes a área daria o volume máximo de reserva. Sobre um pé direito de uns 3,5 m faltava saber qual era a cota de chegada da tubulação de entrada. A saída desta tubulação está regulada por um dispositivo (válvula de fechamento automático por flotação) como o apresentado na Figura 79.

Figura 79. Válvula de fechamento automático na entrada do reservatório inferior.

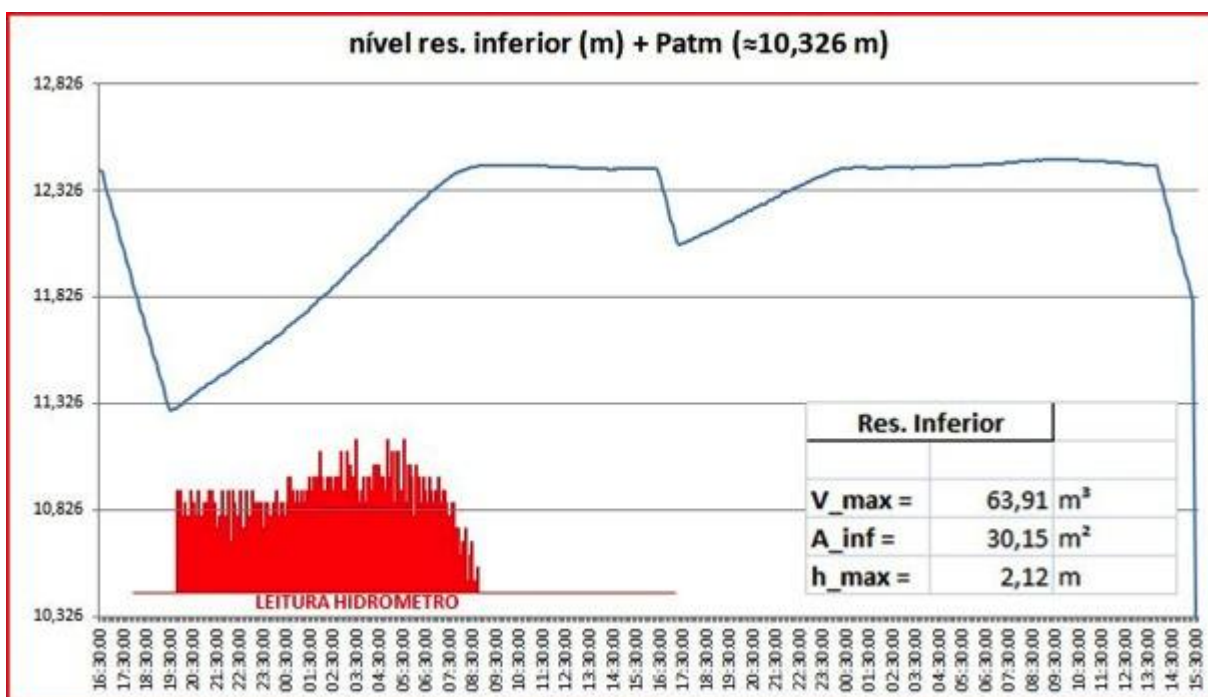


Este dispositivo, acionado mediante uma bóia, é regulado para fechar a entrada de água quando é atingido o nível máximo pré-definido no reservatório. Os dados registrados pelo medidor de nível permitem estabelecer que este nível (altura máxima da lamina de água) corresponde a $h_{\max} = 2,12 \text{ m}$. Este valor dá uma capacidade de reserva de $V_{\max_inferior} = 63,91 \text{ m}^3$.

A Figura 80 apresenta os dados registrados pelo medidor de nível, instalado no reservatório inferior da EP-UFBA durante 47 horas consecutivas entre semana (dois dias laboráveis). Durante este período, registraram-se três bombeamentos de distinta duração. São as três retas que decrescem com a mesma inclinação: a vazão da bomba é constante no ponto de trabalho determinado e vale $Q = 10,5 \text{ m}^3/\text{h}$. O primeiro bombeamento demorou três horas e foi decorrente de uma situação anormal na qual

chegou a faltar água no prédio: a chave-bóia do reservatório superior entrou em pane e precisou ser substituída. Esta chave é encarregada da partida da bomba quando o nível deste reservatório atinge o valor mínimo predefinido. Como consequência, o reservatório superior esvaziou-se completamente. Durante o posterior enchimento, o nível do reservatório inferior estava sendo monitorado o que permitiu estabelecer que o tempo de enchimento total do tanque superior foi de três horas, o que para uma vazão de $Q = 10,5 \text{ m}^3/\text{h}$ dá um volume de $V_{\text{max_superior}} = 31,5 \text{ m}^3$ + reserva de incêndio (não quantificada, embora costuma ser 20% do total).

Figura 80. Variação do nível do reservatório inferior



Como um resultado secundário, a curva de variação do nível permite observar o fenômeno hidráulico do aumento da pressão na rede durante a noite. Durante a noite, o consumo de água cai e em consequência aumenta a pressão da rede urbana de distribuição. Observando a inclinação das curvas de enchimento do reservatório, é perceptível que esta não é uniforme. Assim, entre as 18h e as 00h da noite (horário de elevada demanda) a inclinação é menor que entre as 00h e as 05h (horário de baixa demanda). A inclinação da curva de enchimento (aumento do nível no tempo) representa a velocidade de enchimento, a qual é diretamente proporcional à pressão da rede. Se a pressão na rede fosse uniforme, a curva de enchimento seria uma reta para qualquer horário.

Modelagem da curva de demanda de água do prédio mediante redes neurais artificiais.

As redes neurais artificiais (RNA) são técnicas computacionais que apresentam um modelo inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência. Constituem um método de solucionar problemas de inteligência artificial, mediante um sistema (programa informático) que simule o funcionamento do cérebro humano, ou seja, que testa possibilidades aprendendo, errando e fazendo descobertas. Enquanto um programa informático “tradicional” executa operações lógicas, depende do modelo do programador e testa uma hipótese por vez, um “*neurocomputador*” aprende, executa operações não lógicas, descobre as relações ou regras dos dados e exemplos e testa várias hipóteses em paralelo. A rede neural artificial é um sistema organizado em camadas com neurônios de entrada, que recebem estímulos do meio externo, neurônios internos ou *hidden* (ocultos) e neurônios de saída, que se comunicam com o exterior. A maioria dos modelos de redes neurais possui alguma regra de treinamento, onde os pesos de suas conexões são ajustados de acordo com os padrões apresentados.

Dentre as inúmeras aplicações das redes neurais artificiais, destacam-se a análise do mercado financeiro, controle de processos industriais, aplicações climáticas e, na área de interesse deste trabalho, previsão de demandas de água, energia ou qualquer outro produto baseando-se em dados históricos de consumo.

No Brasil, Odan (2010) e Santos (2011) elaboraram uma previsão de demanda de água na Região Metropolitana de São Paulo mediante redes neurais artificiais, utilizando como entradas um conjunto de diversas condições socioambientais e meteorológicas. Para o algoritmo de treinamento, foram utilizados dados de consumo de água e séries de dados meteorológicos das cidades de São Paulo, São Carlos e Araquara. O foco destes trabalhos foi a variação da curva diária do consumo de água (períodos de 24h), visando a operação em tempo real de sistemas de abastecimento de água.

Apesar da existência de uma grande bibliografia de modelagem de demanda de água em sistemas urbanos mediante modelos baseados em redes neurais, ainda não foram usados estes modelos em uma escala menor (grandes conjuntos prediais) como é o caso da Escola Politécnica da UFBA. Por outra parte, estes modelos visam à caracterização da curva diária (24h) ou demanda no curto prazo.

A modelagem da variação da demanda considerando períodos de 12 meses, em vez de períodos

de 24h, apresenta a vantagem de permitir contrastar dados de demanda de água e dados de probabilidade de chuva mês a mês, pois as funções “distribuição acumulada complementar” e “densidade de probabilidade de chuva” estão definidas para cada mês. Isto viabiliza uma posterior análise estatística, que determine correlações entre ambas as variáveis.

A rede proposta estará configurada com múltiplas camadas e será utilizada em um modelo não-linear SISO (*Single Input, Single Output*) ou de uma entrada e uma saída.

A entrada será o consumo de água registrado em cada mês dentro de uma série histórica de dados que vão desde Janeiro de 2005 até Julho de 2013. Este dado correspondente a cada mês será previamente adimensionalizado, dividindo entre o valor máximo anual. Assim, teremos para cada ano (2005 até 2013) um valor adimensional (entre 0 e 1) referido ao valor do mês cujo consumo de água foi maior. Isto é, um valor de 0,35 num determinado mês equivale a dizer que nesse mês houve um consumo de 35% do valor máximo anual.

A metodologia seguida será:

1. Coleta de dados e separação destes em um conjunto de treinamento e um conjunto de testes.
2. Configuração da rede: Seleção do paradigma neural apropriado à aplicação. Determinação da topologia da rede a ser utilizada: o número de camadas, o número de unidades em cada camada, dos parâmetros do algoritmo de treinamento e das funções de ativação.
3. Treinamento.
4. Teste.
5. Integração.

A Rede selecionada tem 2 neurônios na camada de entrada, 1 neurônio na camada de saída, 1 neurônio na camada intermediária e 1 camada intermediária. Para treinar esta rede, se usou os dados dos primeiros anos da série histórica (2005 a 2008) num processo iterativo denominado “validação cruzada”. Posteriormente foi selecionada a estrutura de rede anteriormente descrita, por ser a que apresentou o menor erro. A saída “demanda” devolve o valor esperado para cada mês, em m³/dia, com base no consumo médio do período considerado.

Modelagem da curva de demanda de água do prédio mediante Lógica *fuzzy*.

A lógica difusa ou lógica *fuzzy* é uma extensão da lógica booleana na qual os elementos passam a ter um grau de pertinência (ou de veracidade) variando entre 0 e 1.

A lógica *fuzzy* é bastante utilizada no apoio da tomada decisão, sendo usada como lógica multivariável ou probabilística. Dentre suas inúmeras aplicações, uma das mais recentes tem sido o gerenciamento da demanda de água em prédios.

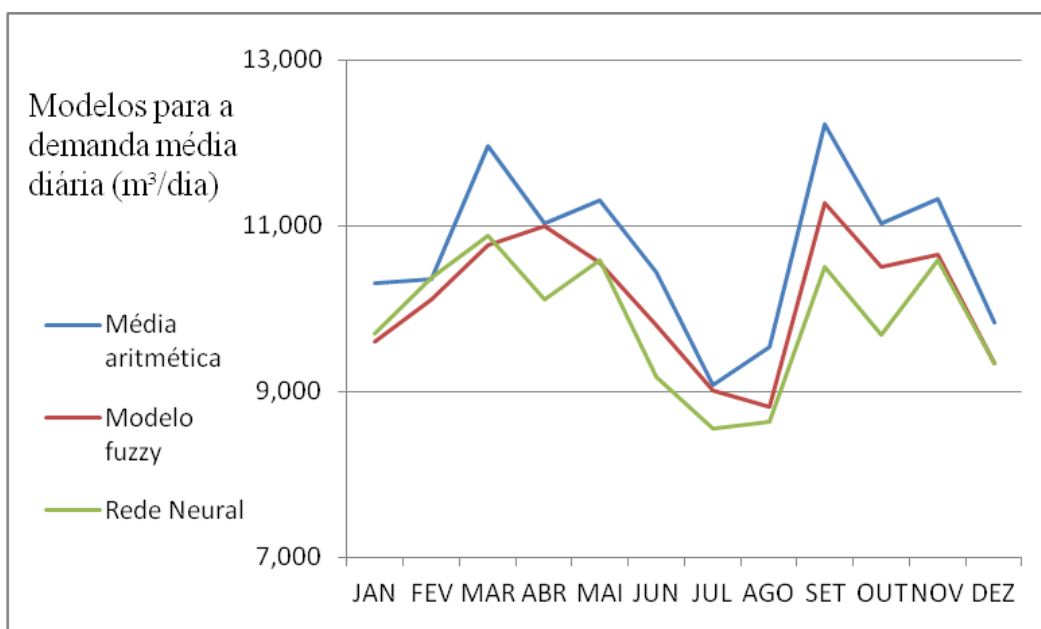
Oliveira et al. (2013) apresentaram um método baseado em lógica *fuzzy* para modelar o consumo de água num prédio. Após usar o método Monte-Carlo e a lógica *fuzzy* para determinar a probabilidade de uso dos aparelhos sanitários e a duração dos banhos dos residentes, geraram uma série de dados de uso de aparelhos sanitários e picos de consumo, chegando a uns dados simulados de consumo 23% menores que os estabelecidos pelo padrão brasileiro, que usa um método determinístico (ABNT, 1998).

Para modelar a demanda de água da Escola Politécnica de Salvador, usou-se um modelo *fuzzy* do tipo “sugeno”, com duas entradas (mês, ano) e uma saída (valor da demanda média em m³/dia). A estrutura deste modelo é composta de 25 regras de lógica difusa.

Modelagem da curva de demanda: resultados e contraste entre os três modelos.

A Figura 81 apresenta a demanda diária de água obtida por cada modelo: média aritmética adimensionalizada e atualizada com os valores de 2013, modelo *fuzzy*, e rede neural. Em cada modelo, a saída “demanda” devolve o valor esperado para cada mês, em m³/dia, com base no consumo médio do período considerado.

Figura 81. Curva de demanda anual de água não potável no prédio.



Observando o gráfico, percebe-se a periodicidade da curva de demanda, a qual possui, em todos os modelos, dois picos (meses de demanda máxima) e dois meses de demanda mínima, por ano.

Os modelos *fuzzy* e de rede neural apresentaram valores menos oscilantes devido à tendência a “suavizar”, no modelo gerado, os valores extremos registrados na série histórica de dados.

Correlação entre as bases de dados: demanda de água vs. probabilidade de chuva

A variação da demanda de água depende fundamentalmente do calendário acadêmico, que submete a este prédio a uma sucessão de períodos de recesso acadêmico (2 por ano) e períodos de elevado uso (elevada frequência de aulas, exames e eventos). Esta variação periódica da taxa de ocupação do prédio gera as oscilações registradas no consumo de água. A modelagem da demanda do prédio revelou dois picos de demanda, correspondentes aos meses de Março e Setembro, e dois períodos de forte descenso: o primeiro entre os meses de Janeiro-Fevereiro e o segundo localizado entre os meses de Junho-Julho.

Uma vez estabelecida a dependência da demanda de água com as variações do calendário acadêmico, estudou-se sua correlação com a disponibilidade de chuva. Para tal é usada a função ρ de Pearson.

Em estatística descritiva, o coeficiente de correlação de Pearson, também chamado de "coeficiente de correlação produto-momento" ou simplesmente de " ρ (ro) de Pearson" mede o grau da correlação entre duas variáveis.

Este coeficiente assume apenas valores entre -1 e 1.

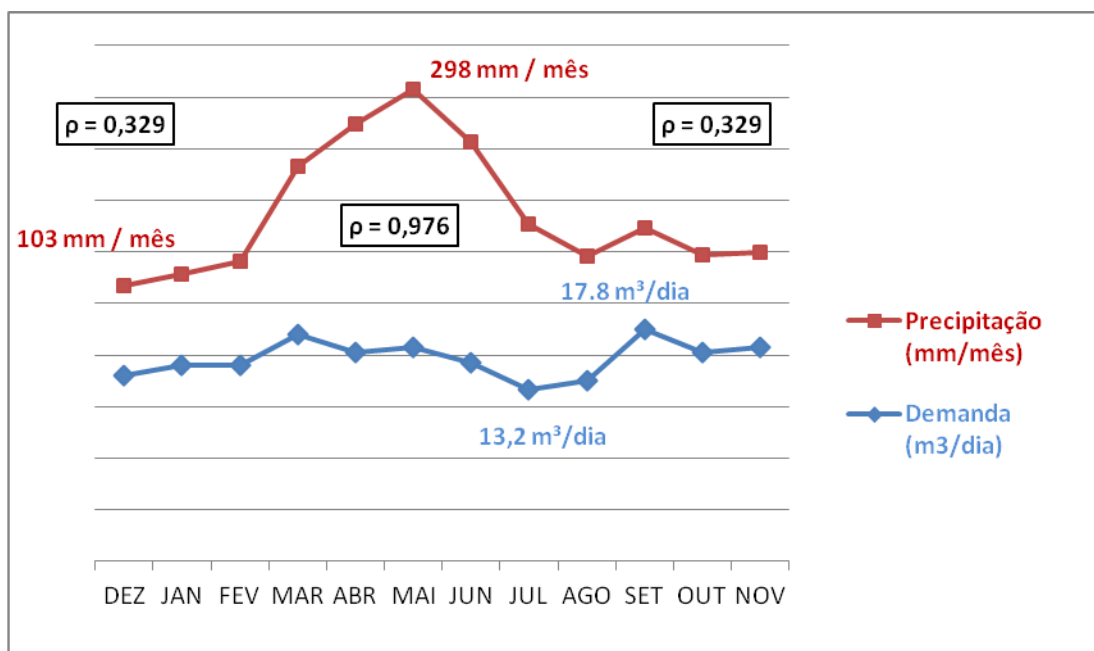
Um valor de 1 significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis.

Um valor de -1 significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis: se uma aumenta, a outra sempre diminui.

Um valor de 0 significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. No entanto, pode existir uma dependência não linear que deverá ser considerada.

Desta forma, foi contrastada a curva de pluviosidade média anual, obtida da série histórica de chuva no local (Estação Meteorológica de Ondina) com a curva de demanda de água no prédio. Os resultados do estudo de correlação são apresentados na Figura 82.

Figura 82. Variação conjunta chuva / demanda. Curvas de variação para ambos os parâmetros junto dos três coeficientes de correlação ao longo do ano (ρ).



A variação da disponibilidade de chuva acompanha surpreendentemente bem a curva de demanda.

Os meses mais secos do ano coincidem com os meses de menor demanda de água (mínimo anual em Dezembro devido ao recesso natalino).

O período desde Fevereiro até Julho compreende os meses com maior precipitação anual (Março até mediados de Junho), os quais também coincidem com meses de forte demanda. Em concreto, o segundo maior pico anual de demanda acontece em Março.

O período desde mediados de Junho até finais de Agosto continua registrando abundantes precipitações. Após o máximo de precipitações em Maio, a disponibilidade de chuva mantém-se alta embora vai descendendo gradualmente. Também se produz uma queda progressiva na demanda de água, até chegar ao mínimo anual do mês de Julho. Apesar desta menor demanda de água, devido à menor taxa de ocupação do prédio, tudo o potencial pluvial pode ser aproveitado. Nestes meses, a água de chuva chegaria a satisfazer até 63% das necessidades de água não potável, para o volume de reserva ótimo calculado em 17,5 m³.

Por último, o trimestre Setembro-Outubro-Novembro apresenta uma forte demanda de água decorrente de uma elevada taxa de ocupação do prédio. Este aumento da demanda é acompanhado por uma remontada das precipitações, que acontece em torno de Setembro.

O coeficiente de correlação ρ de Pearson entre as variáveis “demanda” e “disponibilidade de chuva” apresenta três valores diferenciados, dependendo do período do ano considerado.

A maior coincidência acontece no trimestre Maio-Junho-Julho. Isto é refletido no valor do coeficiente de correlação para estas variáveis, que neste período toma o valor de 0,976 (praticamente uma correlação perfeita).

Unicamente nos meses de Abril e Agosto, as variáveis “demanda” e “disponibilidade de chuva” se comportam de maneira diferente (coeficiente de correlação -1): enquanto uma delas aumenta a outra diminui.

Durante o resto do ano (Setembro a Março) existe uma correlação razoável entre as variáveis: coeficiente de correlação de 0,329. Nestes meses, o aumento (ou diminuição) da demanda de água no prédio vem acompanhado de um aumento (ou diminuição) mais ou menos proporcional das precipitações registradas.

AII.2 – CADASTRO DE USOS NÃO POTÁVEIS DE ÁGUA NO PRÉDIO

Neste capítulo será estabelecida a percentagem da demanda total que poderia ser satisfeita com água de qualidade inferior à potável.

A combinação de hidrômetros situados nos diferentes setores do prédio, o cadastro dos equipamentos consumidores e a medição da frequência de uso e seu consumo real, permitem realizar um balanço hídrico entre a entrada e as diferentes saídas (demanda de cada setor ou equipamento). Isto facilita caracterizar a demanda de água num prédio, estabelecendo que parte é destinada para fins potáveis e que parte é susceptível de ser substituída por água proveniente de mananciais “alternativos” (água de chuva, de poço, água de reúso).

Os usos potáveis de água no prédio compreendem:

Cantina da Escola Politécnica: a água é usada para cozinhar, beber e lavagem de louça. A cantina possui um hidrômetro próprio que indica que seu consumo representa 3,54% do total do prédio.

Copas dos departamentos e bebedouros: O prédio possui um total de 18 copas, cada uma de elas equipada com uma pia (para cozinhar e lavagem de louça) e um bebedouro (filtro e dispensador de água gelada).

A única copa cujo consumo é monitorado é a do Departamento de Engenharia Ambiental – DEA, no 4º andar. Esta copa tem um consumo médio de 0,1 m³/dia. As copas estão repartidas pelas diferentes partes do prédio e atendem cada uma delas a um número parecido de funcionários e estudantes. Devido a esta razão, considerou-se um consumo igual para cada uma das copas, o que totaliza 1,8 m³/dia.

Além dos bebedouros nas copas, há bebedouros tipo fonte e dispensadores de água gelada em vários corredores do prédio, totalizando mais 9 pontos de água potável. Alguns departamentos e laboratórios usam bebedouros com garrações de água mineral, sem conexão à rede hidrosanitária do prédio.

Figura 83. Copa equipada com dispensador de água gelada e pia. Departamento de Materiais, 3º andar.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Figura 84. Três usos de água para consumo humano no prédio: bebedouro desconectado da rede, dispensador de água gelada e fonte-bebedouro (estes dois últimos com filtro próprio).



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Usos de água para fins potáveis nos banheiros: uma parte da água consumida nos banheiros espalhados pelo prédio não pode ser substituída por água de qualidade inferior à potável. Trata-se da água destinada para:

- Duchas (cinco duchas em total, para funcionários e vigilantes)
- Lavatórios: usados para higiene de mãos, cara e escovar dentes.

Após a pesquisa de caracterização dos usos de água no prédio, foram identificados os seguintes usos de água para fins não potáveis:

Banheiros: descargas em bacias sanitárias e mictórios

Os banheiros principais (abastecidos pelas prumadas 2 e 3) são os que apresentam um maior consumo, por serem usados por funcionários, estudantes e visitantes.

Além destes banheiros “principais”, o prédio conta com os banheiros abastecidos pela prumada 5 e vários banheiros dispersos pelos departamentos e laboratórios.

Os usos não potáveis registrados são descargas nas bacias sanitárias e nos mictórios. Dentre as ações levadas a cabo pelo programa Aguapura para eficientizar o consumo de água nestes banheiros, destaca a substituição de duas bacias por mictórios privativos, os quais recebem descargas com a água proveniente dos lavatórios do andar superior (reúso de água cinza).

Visando o duplo objetivo de caracterizar a demanda de água não potável e detectar vazamentos, foram instalados nos banheiros (masculino e feminino, andares 4 e 7) do prédio um conjunto de hidrômetros equipados com *data logger* para leitura e armazenamento automático de dados.

Figura 85. Medição setorizada com transmissão dos dados por sinal 4-20 mA. Banheiro principal masculino, 4º andar.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2011).

Figura 86. Data-logger centralizado junto aos banheiros do 4º andar.

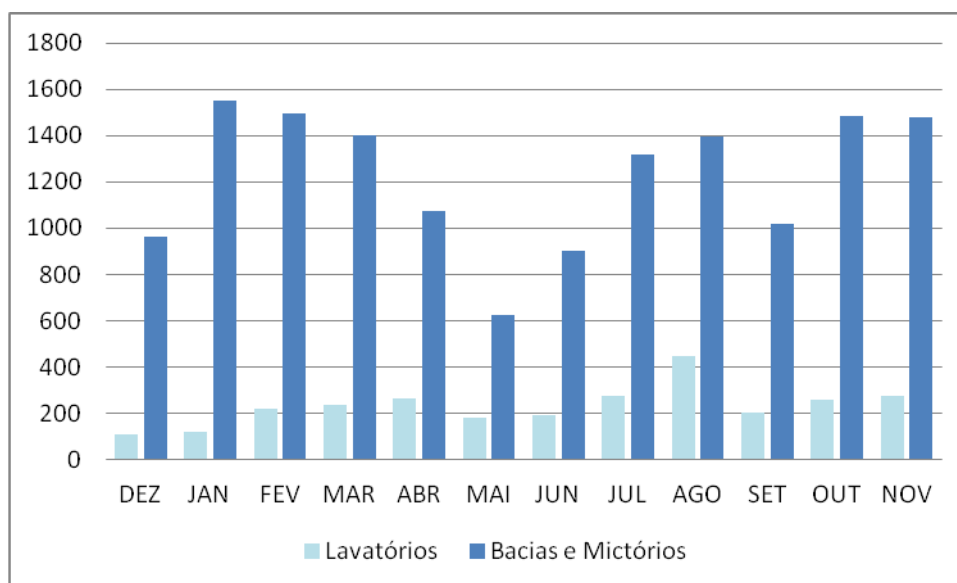


Fonte: arquivo pessoal do autor (2011).

No painel elétrico, o data-logger recebe os sinais provenientes dos banheiros masculino e feminino. Em cada banheiro, um hidrômetro mede o volume consumido pelas pias (lavatórios) e um segundo hidrômetro mede o consumo das bacias sanitárias e dos mictórios.

Os resultados do monitoramento destes banheiros, desde Dezembro de 2012 até Novembro de 2013 são apresentados na Figura 87 a seguir.

Figura 87. Consumo médio, em litros por dia, dos banheiros principais monitorados (andares 4 e 7).
Ano de 2013.



Planta piloto: produção de biodiesel a partir de óleos vegetais e gorduras residuais.

As instalações (Figura 88) compreendem um conjunto de reatores, tanques de mistura e tanques de produtos químicos. Estão situadas num piso superior pavimentado, a uma cota elevada 2 m, e embaixo de um galpão de 4 m de altura coberto por telhado metálico.

Figura 88. Planta piloto de biodiesel.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Esta planta piloto tem uma capacidade de produção de 5000 m³ de biodiesel por ano. A produção atual é bem mais baixa, estimada em 10 m³ durante todo o ano de 2013.

O insumo utilizado é óleo vegetal *in natura* e gorduras residuais (OGR), as quais são transformadas em biodiesel mediante uma reação de transesterificação (reação com metanol ou etanol mais um catalisador). Neste processo, também é produzida glicerina.

O sistema de produção é por bateladas: o insumo é estocado nas imediações da planta, até chegar a uma quantidade suficiente que viabilize a produção de uma batelada de 1000 a 1500 litros de biodiesel.

Este processo usa água com uma relação de entre 1,5 e 2 litros de água por litro de biodiesel produzido. Numa batelada, podem chegar a ser usados 3 m³ de água potável que são descartados na rede de esgoto.

Após seu uso, a água usada continua sendo apta para um uso posterior e poderia ser armazenada para tal fim. Esta possibilidade de reúso já foi detectada pelos responsáveis da planta, e vê-se facilitada pela existência de uma bomba de pequena potência e uma caixa d'água elevada de 500 l nas instalações.

Além da possibilidade de reúso, a água de chuva atende perfeitamente a qualidade requerida no processo.

O local oferece boas possibilidades para a implementação de um sistema de águas pluviais:

- Demanda de água não potável nas imediações.
- Três superfícies privilegiadas de captação nas imediações: telhados da planta de biodiesel (C9), planta de biogás (C8) e piso da quadra esportiva (D4). Esta última está situada a uma cota elevada 8 m em relação ao pátio dos laboratórios.
- Pisos elevados, pavimentados, sobre muros de contenção, capazes de sustentar um reservatório de grandes dimensões. Possibilidade de distribuição por gravidade, dispensando o uso de bombas.
- Uma linha de drenagem que transporta uma quantidade considerável de águas pluviais, procedente das sub-bacias C1, D2 e D4, passa pelo local descendo 8 m desde a quadra esportiva até um PV no pátio dos laboratórios. Assim mesmo, esta linha de drenagem poderia ser usada para verter eventuais extravasamentos de um reservatório de águas pluviais.
- Na frente da planta piloto de biodiesel, e numa cota elevada 12 metros, estão situados os laboratórios do Departamento de Engenharia Ambiental (DEA, 4º andar) os quais usam diariamente 500 l de água potável que poderia ser substituída por água não potável. Esta água, após refrigerar os destiladores, poderia ser reaproveitada para vários usos. Portanto um reservatório de água não potável instalado nas imediações da planta de biodiesel poderia abastecer os destiladores do DEA e ainda recolher sua água usada a qual, aquecida após o uso, deveria ser rapidamente clorada e reservada num tanque de contato para evitar proliferação de *legionella* e outros micro-organismos.

Planta piloto: cultivo de algas para produção de biodiesel.

Figura 89. Planta piloto de cultivo de algas para biodiesel



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Prevista para entrar em serviço em 2014, seu consumo de água foi avaliado em 4 m³/mês pela equipe responsável do projeto.

Este equipamento requer de água para preparar um meio de cultura que permita o desenvolvimento de algas para produzir biodiesel.

Para isto, com será usada água potável proveniente de uma torneira no jardim, próxima ao local. Esta água será filtrada e preencherá os tanques translúcidos, onde as algas receberão luz e o meio de cultura será arejado com um compressor e re-circulado. Quando as algas crescerem até atingir o ponto de safra, os tanques serão esvaziados e a água vertida nas imediações do local. Esta água poderia ser reutilizada na própria planta, para a safra seguinte, se houvesse um tanque elevado de reserva e uma pequena bomba.

A equipe responsável pela planta mostrou sua disposição a empregar água de chuva, a qual atende os padrões de qualidade necessários para a planta piloto, desde que seja usada água proveniente das coberturas.

Embora existe uma grande área de captação junto ao local da planta (estacionamento B1), situado numa cota de 2 metros mais alta, esta superfície apresenta um potencial perigo de contaminação de água pelo óleo dos carros, o que seria inadmissível para o meio de cultura das algas.

Outras plantas piloto.

A EP-UFBA possui outras plantas piloto dentro de suas instalações: a planta de elevação automática do Laboratório de Eficiência Energética e Ambiental – LABEFEA (Lamotriz) a planta de demonstração do laboratório de hidráulica e a torre de resfriamento da planta de biogás (atualmente refrigerada mediante ar).

Embora estes equipamentos tenham um potencial de grande consumo de água, foram desconsideradas nesta análise por apresentar um consumo muito reduzido devido á pouca frequência no seu uso.

Destiladores dos laboratórios.

Um conjunto de 10 aparelhos destiladores (dois bidestiladores e oito destiladores tipo Pilsen) estão espalhados pelos diversos laboratórios do prédio principal.

Figura 90. Modelos de destiladores usados na EP-UFBA.



Fonte: QUIMIS (2013). De esquerda para direita, Destilador de Nitrogênio Amoniacal - Q309N, Bidestilador de Água em Vidro - Q341V e Destilador de Água tipo Pilsen - Q341.

Nos destiladores de água pelo sistema Pilsen, a água entra na caldeira onde é pré-aquecida, para em seguida entrar em ebulição. Neste processo, usa-se energia elétrica que se faz circular por uma resistência. Após a ebulição a água se faz condensar e se recolhe este produto (já é água destilada: água química e bacteriologicamente pura). A condensação se faz refrigerando a câmara de condensação mediante uma vazão de água a menor temperatura. É prática comum em todos os laboratórios da UFBA usar para este fim água potável proveniente da rede, pois é o único tipo de água disponível.

Segundo dados do fabricante (QUIMIS, 2013), o destilador Pilsen produz água com pureza abaixo de 4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, considerando entrada até 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (medida da condutividade da água que monitora a quantidade de sólidos dissolvidos). Nos casos de aplicações mais rigorosas na área bioquímica, química fina entre outras, que requeiram uma pureza da água destilada tal que a condutividade na saída seja entre 0,5 e 1,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, usa-se o bi-destilador. O destilador de nitrogênio amoniacal é direcionado para trabalhos de tratamento de efluentes e água, como por exemplo no Laboratório de Análise de Efluentes (DEA, 4º andar). A frequência de uso deste último é reduzida, portanto a análise da demanda de água pelos dispositivos destiladores está centrada em bi-destiladores e sobre todo destiladores tipo Pilsen, os mais usados.

Na entrada dos aparelhos, costuma-se usar pré-filtros de sedimentos e de carvão ativado (Q382) bem como o abrandador no caso das águas duras (o que não é o caso da água de chuva).

Depois das descargas nas bacias sanitárias e nos mictórios, a refrigeração de destiladores é responsável pela segunda maior demanda de água para fins não potáveis do prédio.

Estes equipamentos oferecem uma dupla oportunidade de economia de água: por uma parte, aceitam o uso de água não potável desde que tenha baixo teor de sólidos suspensos e turbidez e esteja a uma temperatura *normal* (máximo de 20°C – 25°C). Por outro, geram um efluente que pode ser usado em outros usos não potáveis do prédio (água cinza entre 25°C e 30°C). Esta água pode ser armazenada até seu resfriamento a temperatura ambiente, com simples cloração, e posteriormente reutilizada, inclusive nos próprios destiladores.

O consumo de água dos destiladores da EP-UFBA foi estimado no ano de 2008 em 51,3 $\text{m}^3/\text{mês}$ (NAKAGAWA, 2009). Segundo esta pesquisa, 31,7 $\text{m}^3/\text{mês}$ deste volume consumido estaria sendo desperdiçado devido a um mau uso do equipamento, já que o índice AR/AD usado (água de resfriamento /água destilada) estava bem acima do recomendado pelo fabricante (QUIMIS). Assim, um correto uso e manutenção dos equipamentos destiladores poderia economizar mais de 60% da água que consomem. Embora, não há registros de mudança operacional com os destiladores, nem acompanhamento da evolução da relação AR/AD desde 2008.

A referida pesquisa cadastrou um total de 7 destiladores no prédio principal da EP-UFBA. Desde 2008 até a presente data (Dezembro de 2013) nenhum destilador existente foi trocado por outro de baixo consumo, e foram adquiridos mais três destiladores: um deles no LABEC – Laboratório de Bioenergia e Catálise (2º andar), outro no PROTEC – Laboratório de Processos e Tecnologia (6º andar), e um bidestilador no LABDEA (4º andar).

O LABEC reaproveita a água de resfriamento para lavagem de vidrarias e utensílios do laboratório por meio de um tanque de armazenamento, portanto o impacto deste novo destilador na evolução do consumo de água é nulo.

Após entrevistas com os responsáveis dos laboratórios, conclui-se que a quantidade de água destilada produzida aumentou significativamente desde os 11 litros por dia da última medição (NAKAGAWA, 2009). O consumo atual de água nos equipamentos destiladores é de pelo menos 60,0 m³/mês, devido à incorporação de novos destiladores e ao aumento da atividade nos laboratórios. Este valor supõe um aumento de 17% no consumo dos destiladores com respeito a 2008, até atingir 10,10% do consumo atual de água do prédio (2013).

Outros usos não potáveis nos laboratórios.

Aparte dos destiladores, foram identificados outros usos de água para fins não potáveis nos laboratórios da EP-UFBA. Todos os laboratórios possuem pias para lavagem de vidrarias e utensílios laboratoriais, que representa o segundo maior uso de água após os destiladores.

A “lavagem de vidrarias e utensílios laboratoriais” é feita com água potável da rede, a qual poderia ser substituída por água não potável clorada. Já o efluente desta lavagem apresenta a problemática do contacto com produtos químicos, o que não viabiliza seu reúso. Os efluentes mais contaminados nos laboratórios, e aqueles que apresentam alta DQO (demanda química de oxigênio) não são descartados nas pias. São estocados para seu correto descarte em locais especiais, de acordo com a legislação vigente.

Alguns laboratórios possuem seus próprios banheiros. No caso dos laboratórios do Departamento de Engenharia Elétrica (1º andar do prédio principal), do Mestrado em Engenharia Química (2º andar), do Laboratório de Madeira (2º andar), e de Geotecnia (3º andar) os banheiros estão situados baixo o piso dos Laboratórios de Análise de Águas e Análises de Efluentes (DEA, 4º andar), os quais são os maiores produtores de água destilada da EP-UFBA. Estes laboratórios descartam um efluente caracterizado como água cinza (água de resfriamento: água da rede aquecida até 30°C) e quantificada em 1 m³/dia de média. Este efluente, por quantidade e qualidade, apresenta condições ideais para seu uso nos banheiros dos laboratórios situados nos andares inferiores.

Nos laboratórios do Departamento de Ciência dos Materiais (1º e 2º andar) os outros usos laboratoriais de água compreendem pias de lavagem de utensílios, preparação de amostras, argamassa, aglomerados e hidratação de amostras nos tanques de cura. No laboratório LEDMa – Laboratório de Ensaio em Durabilidade dos Materiais (1º andar) há uma máquina para preparo de soluções salinas.

Funciona por bateladas e é abastecida pela água da rede, a qual passa por um filtro de carvão ativado antes de entrar na máquina.

Nos tanques de cura, as amostras são deixadas até sua hidratação. Depois são retiradas do tanque e analisadas. Para tal efeito, há um conjunto de dois tanques de 500 l na área de ensaios do 2º andar. Situado a uma cota elevada 2,5 m respeito destes tanques foi instalado uma caixa d'água em fibrocimento, de forma retangular e 1000 l de capacidade (Figura 92). O propósito da aquisição e instalação desta caixa foi segurar o abastecimento de água neste laboratório em caso de interrupção do fornecimento da rede. Esta caixa d'água não possui outra função e é *by-passeada* durante o funcionamento normal do laboratório. Portanto, resultaria uma candidata ideal para ser um reservatório de água não potável que abastecesse este conjunto de laboratórios do 1º e 2º andar.

Figura 91. Betoneira no laboratório de argamassa



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Figura 92. Tanques de cura de amostras em polietileno (500 l) e caixa d'água de 1000 l em fibrocimento, no alto.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Nos laboratórios do Engenharia Química (6° andar) foram identificados, além das pias e dos 3 destiladores, usos de água para um circuito fechado de resfriamento (de consumo desprezível) e uma máquina de elutrição.

Um hidrômetro monitora o consumo do Laboratório de Análises de Efluentes (DEA, 4° andar). O consumo médio deste laboratório é de $0,1 \text{ m}^3/\text{dia}$. A produção de água destilada e a lavagem de vidrarias são as responsáveis pela prática totalidade do consumo, embora há outros equipamentos consumidores de água como o destilador de nitrogênio (amônia) que apresenta baixa frequência de uso.

O consumo dos restantes laboratórios não é monitorado. A estimativa de seu consumo foi feita de acordo com as informações sobre frequência de uso dos equipamentos e procedimentos de operação, passadas pelos operários e responsáveis dos laboratórios.

Lavagem de veículos.

Outro uso de água para fins não potáveis identificado foi a lavagem de veículos da frota da UFBA, mediante mangueiras e torneiras situadas nas áreas exteriores do prédio.

Figura 93. Veículos pertencentes à frota da UFBA estacionados na Escola Politécnica.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Jardinagem.

A área verde na frente do prédio principal é regada periodicamente, usando um conjunto espalhado por esta área de torneiras, mangueiras e aspersores.

Figura 94. Rega de jardins na parte dianteira do prédio principal.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Lavagem de pisos - limpeza

Outro dos usos de água para fins não potáveis identificados foi a lavagem de superfícies e pisos, realizada a diário pelas equipes de limpeza do prédio.

Estas equipes enchem baldes de água usando diversas torneiras espalhadas pelo prédio. A água é aplicada em pisos e superfícies, bem diretamente ou bem na forma de dissoluções desinfetantes com hipoclorito de sódio (soluções com 50% de volume de água). Água não potável clorada, com baixo teor de sólidos suspensos e baixa turbidez seria ideal para este uso.

No Departamento de Pós Graduação em Engenharia Industrial, 6º andar, há uma experiência de reúso de água interessante: a água gerada por um equipamento de ar-condicionado (50.000 BTU) é reservada em garrafas e aproveitada para a lavagem de pisos e banheiros. A produção diária é de 40 litros. Esta água é gerada pela desumidificação do ar no equipamento, a qual é alta devido à proximidade do mar. Constitui, portanto, uma fonte de água não potável produzida no prédio (manancial alternativo).

Figura 95. Aparelho de ar condicionado cuja água é reusada. Sala do PEI – Pós-Graduação em Engenharia Industrial, 6º andar.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Na Figura 95, aprecia-se o aparelho de 50.000 BTU e a tubulação de descarte da água gerada. Acoplando um pequeno reservatório (garrafa PVC de 20 litros) na saída desta linha, consegue-se um volume diário de 40 litros de água para reúso. O potencial de produção de água condensada pelos aparelhos de ar-condicionado (existem várias unidades em cada andar) não foi avaliado ainda.

Usos ornamentais de água

No estacionamento superior, frente à escadaria principal, há uma fonte ornamental que usa água potável proveniente da rede. Esta água é impulsionada por uma pequena bomba situada a 4 metros da fonte. Devido à pouca frequência de uso desta fonte, seu consumo foi retirado desta análise.

Figura 96. Fonte ornamental da EP-UFBA.



Fonte: arquivo pessoal do autor (2013).

Usos não determinados de água no prédio e eventuais usos de água para construção e reformas.

Após a quantificação dos usos potáveis e não potáveis da água, uma parte importante (35%) do consumo do prédio não foi caracterizada.

Isto é devido a que a medição setorizada é parcial, abrangendo apenas parte do prédio. Somente há medição setorizada na Copa do DEA, no Laboratório de Análise de Efluentes, na Cantina e nos banheiros do 4º e 7º andar. Mesmo nestes setores, a incerteza é de $\pm 5\%$ (precisão dos hidrômetros volumétricos). Assim, com a maior parte do prédio sem medição direta, para estabelecer o balanço hídrico do prédio (quanta água é consumida em cada setor) é preciso recorrer a medições indiretas e estimativas.

Com tudo, há uma razão que explica por que a porcentagem de consumo não determinado no

prédio é tão elevada. Os anos de 2012 e 2013 serviram de base para estimar o consumo médio atual da EP-UFBA em 19,8 m³/dia. Entre Setembro de 2012 e Junho de 2013 foi um período de elevado consumo de água, devido a dois consumos “atípicos”, alheios ao normal funcionamento do prédio. Estes dois tipos de consumo foram a construção do prédio novo e os serviços de lavagem da fachada, mediante água à pressão. Além do uso direto da água da EP-UFBA para estes dois fins não potáveis, também aumentou a taxa de ocupação do prédio devido à presença das equipes de construção e lavagem, o que incidiu num maior uso dos banheiros. No caso do prédio novo, foram instalados banheiros temporários abastecidos pela rede de água do prédio.

Esta situação atípica ficou registrada nos dados do sistema Aguapura ViaNet: os seis meses anteriores a este período de construção e reformas, a leitura média do hidrômetro principal foi de 18,0 m³/dia. Entre Setembro de 2012 e Junho de 2013 o consumo médio subiu para 25,4 m³/dia, atingindo um pico em Janeiro de 2012 de 42,3 m³/dia. A partir de Junho de 2013, sem presença de construção nem outro fator externo, o consumo do prédio voltou a seus valores “normais”, determinados pela taxa de ocupação do prédio (atividade nos laboratórios e calendário acadêmico). Desde Junho de 2013, a média de consumo no prédio tem sido de 17,6 m³/dia, inferior aos 19,8 m³/dia considerados usando a média dos últimos anos.

Ao considerar os dados de consumo dos últimos meses, a faixa de “consumo não determinado” cai para 24%.

Contudo, a fase de construção do prédio está temporariamente detida e há previsões de ser retomada nos próximos anos. Também há projetos de reforma no prédio novo, com o que é previsível que o consumo de água aumente devido a estes quesitos.

A instalação de hidrômetros para monitorar o consumo de água destinado a reformas e construção permitiria reduzir a incerteza da análise de usos de água na EP-UFBA, assim como contar com dados para repassar o custo da água usada para as empresas de construção contratadas.

Resultados da análise dos usos de água no prédio

Tabela 9 : Distribuição dos usos da água no prédio.

	percentagem	m³/dia
total	100%	19.80
plantas piloto de biodiesel e bioalgas	0.92%	0.18
outros usos não potáveis nos laboratórios	4.80%	0.95
destiladores	10.10%	2.00
lavagem de veículos e jardinagem	2.00%	0.40
lavagem de pisos - limpeza	1.00%	0.20
copas	9.09%	1.80
cantina	3.54%	0.70
sanitários - potável	5.27%	1.04
sanitários - não potável	27.85%	5.51
indeterminado	35.43%	11.22

Figura 97. Distribuição dos usos da água no prédio, considerando períodos de construção e reformas.

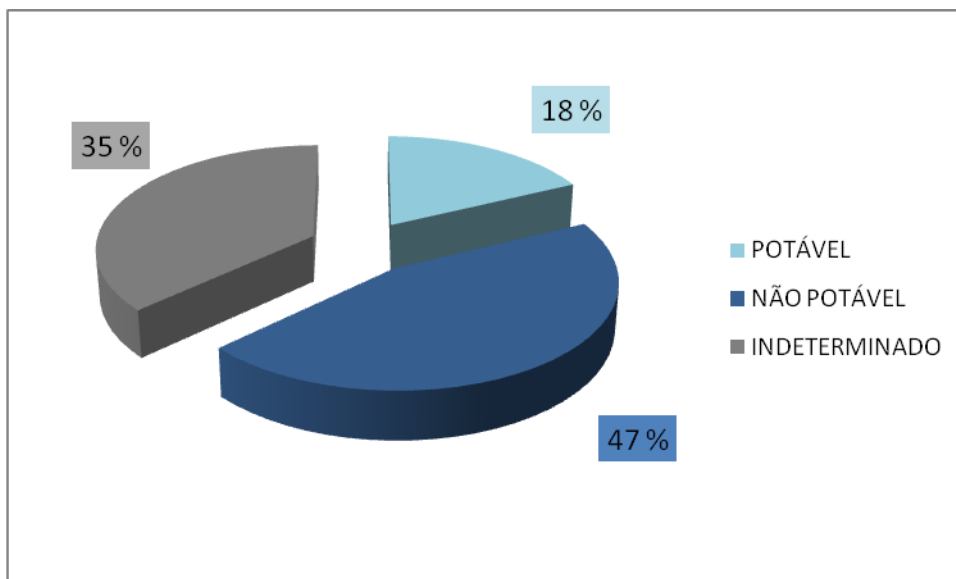
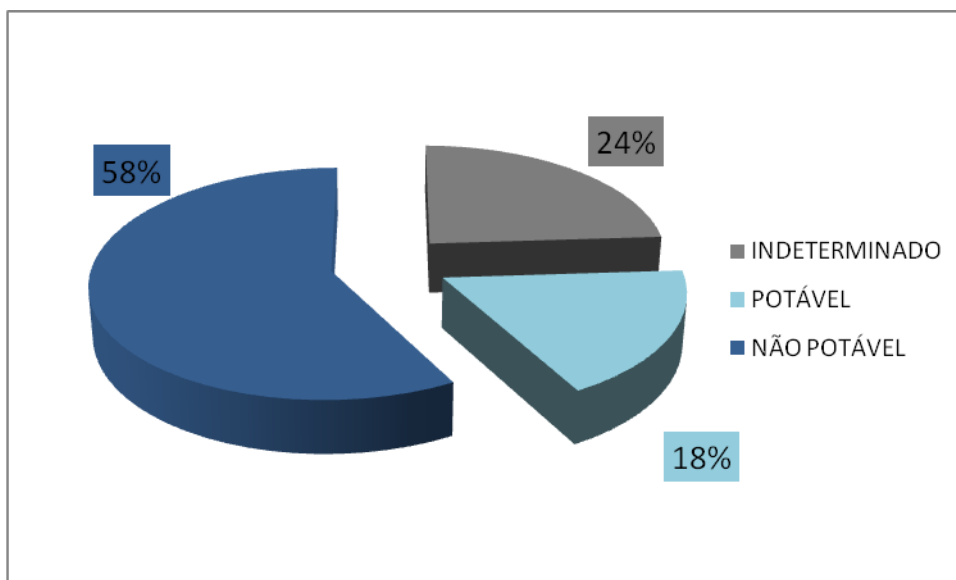
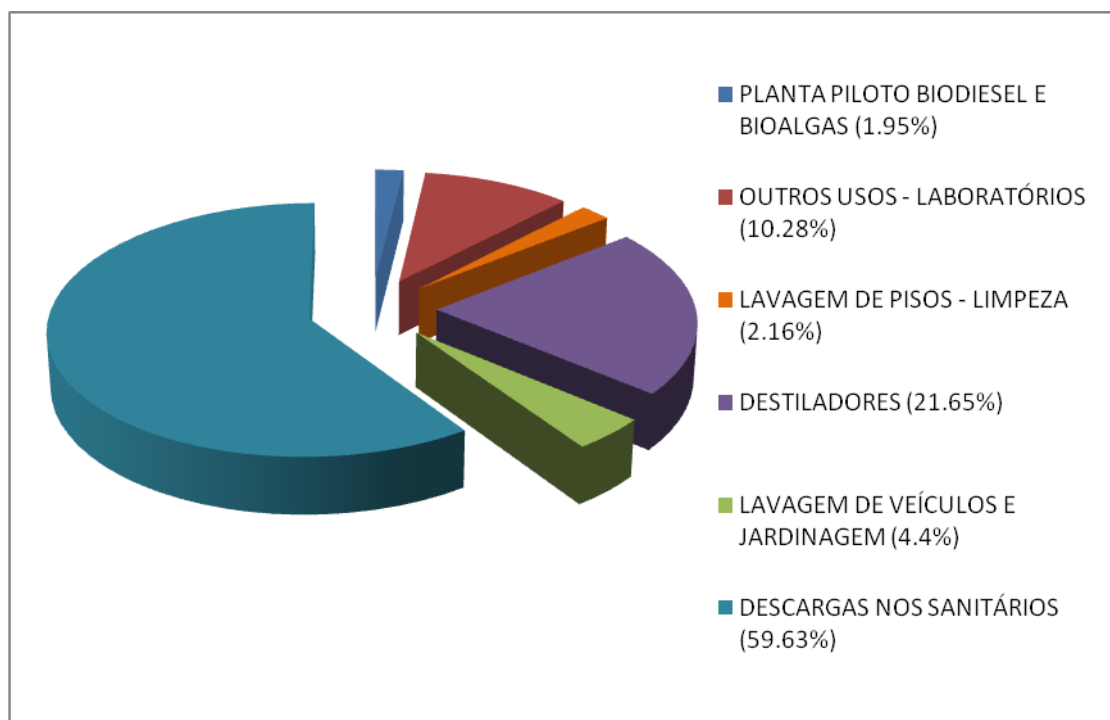


Figura 98. Distribuição dos usos da água no prédio, durante os últimos 6 meses (até Dezembro 2013).



Neste período, a atividade de construção e reformas foi praticamente inexistente.

Figura 99. Usos da água para fins não potáveis na EP-UFBA.



APÊNDICE III

REDUÇÃO DE CHEIAS E INUNDAÇÕES NA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR, MEDIANTE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO PLUVIAL

Retenção de chuva: Atenuação da onda de cheia

A retenção de águas pluviais baseia-se no conceito de armazenar escoamento temporariamente para depois liberar estas águas de maneira controlada para limitar a vazão afluente a uma área e abrandar os potenciais efeitos destrutivos do escoamento. Outros objetivos da retenção de águas pluviais incluem o controle de qualidade da água, a progressiva infiltração para recarga dos aquíferos, e o potencial aproveitamento para usos, em princípio, não potáveis.

Um sistema de aproveitamento pluvial no local da EP-UFBA iria reter em seus reservatórios parte do escoamento gerado durante um evento de chuva, funcionando como uma bacia de retenção.

Para ilustrar graficamente o efeito benéfico que um sistema de aproveitamento pluvial teria sobre o sistema de drenagem da EP-UFBA, são apresentados a seguir dois tipos de gráficas: a gráfica de precipitação e o hidrograma de escoamento.

A gráfica de precipitação mostra a precipitação que cai sobre uma bacia, durante os distintos intervalos de um evento de chuva. Esta gráfica é construída representando a precipitação registrada no pluviômetro em cada um destes intervalos. A gráfica de precipitação resulta também de utilidade para explicar os conceitos de precipitação efetiva, perdas iniciais e infiltração.

O hidrograma de escoamento mostra o valor da vazão de águas pluviais que percorre a

superfície de uma bacia, até chegar no exutório ou no corpo d'água final. A magnitude do escoamento varia no tempo, devido sobre tudo à variação temporal da precipitação e também a outros fatores como a taxa variável da saturação do solo e a existência de bacias de detenção. Um súbito incremento da vazão de águas pluviais escoada recebe o nome de “onda de cheia”. Um evento de chuva, em geral, segue um padrão composto por um ou mais picos de intensidade de precipitação. Isto gera picos de escoamento com uma parte em ascensão antes do pico e outra em declínio após o pico.

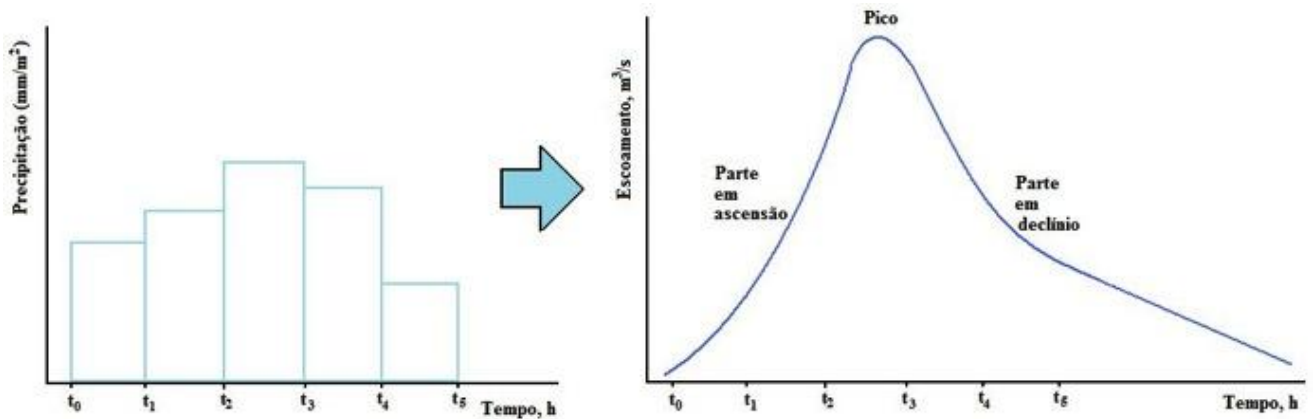
Para ilustrar com um exemplo, considera-se na Tabela 10 um evento de chuva fictício de 11,3 mm de precipitação em 25 minutos. Por simplicidade, o evento de chuva considerado possui um único pico de intensidade, o que irá gerar uma única onda de cheia no hidrograma.

Tabela 10: Registro da intensidade de precipitação de um evento de chuva fictício, medida a cada 5 minutos.

Instante	instante desde o começo da chuva	precipitação registrada no intervalo
t_0	0	-
t_1	5 min	2,0 mm para $t_1 - t_0$
t_2	10 min	2,5 mm para $t_2 - t_1$
t_3	15 min	3,1 mm para $t_3 - t_2$
t_4	20 min	2,3 mm para $t_4 - t_3$
t_5	25 min	1,4 mm para $t_5 - t_4$

A Figura 100 ilustra a relação entre a intensidade do evento de chuva exposto na Tabela 10 e o hidrograma de escoamento que essa chuva produz em uma bacia considerada.

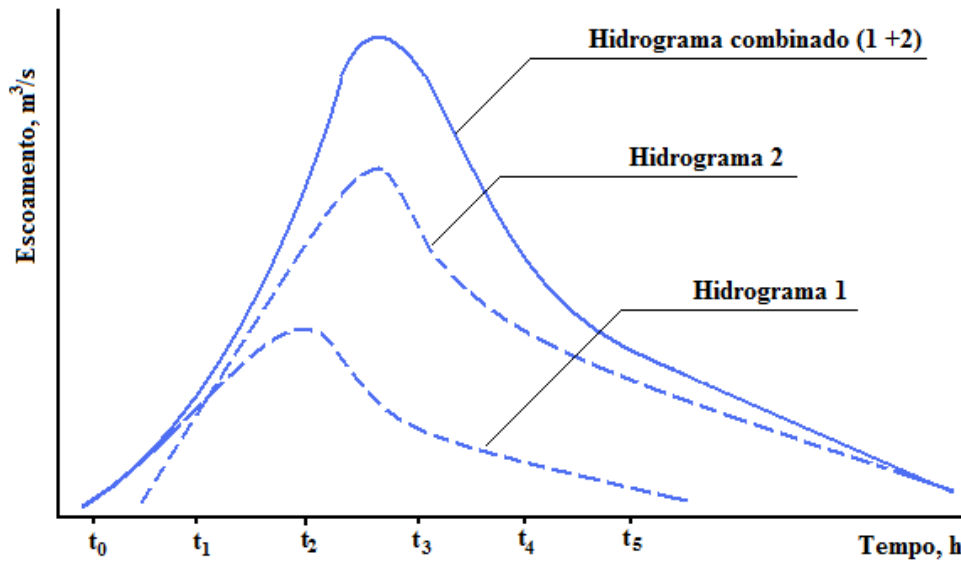
Figura 100. Gráfica de precipitação do evento de chuva exposto na Tabela 10 e seu hidrograma de escoamento em uma bacia.



Todos os hidrogramas de escoamento possuem a mesma forma geral, mostrada na figura anterior, embora possam variar dependendo da quantidade e padrão do evento de chuva ou as características físicas da bacia de drenagem (distintas capacidades de saturação do solo, por exemplo). Assim, o hidrograma de outro evento de chuva diferente poderia apresentar vários picos de distintas magnitudes, ou distinta inclinação para as curvas de ascensão e declínio.

Por outra parte, dois ou mais hidrogramas unitários podem ser combinados para formar um hidrograma resultante. Este pode ser o caso do escoamento produzido por dois eventos de chuva diferentes, ou a gráfica do escoamento registrado em uma bacia a partir dos hidrogramas das sub-bacias que a compõem. Esta propriedade é ilustrada na Figura 101.

Figura 101. Hidrograma resultante da superposição de dois hidrogramas unitários.



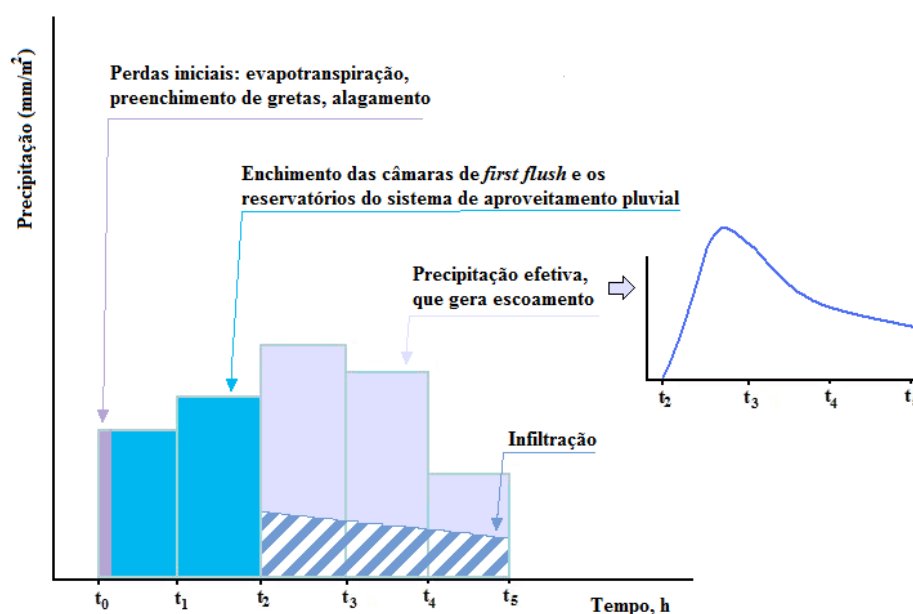
O escoamento representado no hidrograma é formado pela água que caiu na bacia de drenagem na forma de chuva. No entanto, nem toda a chuva transforma-se em escoamento. Parte dela é perdida para o processo de escoamento por meio de infiltração, de evaporação, de alagamento na superfície (preenchimento das reentrâncias do solo) e até de evapotranspiração. O restante da chuva é chamado “precipitação efetiva” e transforma-se em escoamento.

A chuva que cai e não acaba percorrendo a superfície é gasta nas “perdas iniciais” e na infiltração solo. As perdas iniciais consistem em que, no início da precipitação, parte da primeira chuva que atinge o solo forma alagamentos e parte é absorvida pela superfície. Assim, nenhum escoamento começa até que a fase de perdas iniciais (alagamento e absorção iniciais) esteja completa. Mais tarde, conforme o escoamento continua, parte da água escoando sobre o solo é absorvida e se infiltra no solo. Esse processo de infiltração continua durante todo o evento da chuva embora com uma taxa de infiltração decrescente devido a que o solo vai se saturando progressivamente.

Os reservatórios de um sistema de aproveitamento pluvial funcionam como uma bacia de detenção. O escoamento entra nos reservatórios com uma vazão variável no tempo, que segue os padrões do hidrograma de escoamento das bacias de captação, relacionados com a intensidade do evento de chuva. Somente quando os reservatórios de águas pluviais enchem até seu nível máximo, o sistema extravasor transborda o excesso de chuva para o sistema de drenagem *tradicional*, isto é, o sistema de drenagem de emergência que foi projetado para dar conta das vazões máximas de projeto,

segundo a normativa vigente de águas pluviais. Desta forma, os reservatórios do sistema de aproveitamento de águas pluviais oferecem uma capacidade de retenção do escoamento, atenuando a onda de cheia, desde que a quantidade de chuva não ultrapasse o volume disponível nos reservatórios. Mesmo com os reservatórios cheios, o tratamento e posterior aproveitamento das águas armazenadas farão com que o sistema recupere sua capacidade de retenção / atenuação das cheias. A velocidade de recuperação desta capacidade dependerá da demanda diária de água não potável que o prédio registre. Desde um ponto de vista hidrográfico, a retenção do escoamento nos reservatórios de um sistema de aproveitamento pluvial equivale a umas perdas iniciais adicionais. Desta forma, a primeira chuva que atingem o solo se perde para alagamentos, absorção pela superfície e evapotranspiração inicial. Seguidamente, um pequeno escoamento é liberado (ou armazenado) pelo sistema de aproveitamento pluvial na forma de *first flush* (descarte inicial). Posteriormente, até que a capacidade de reserva do sistema não se veja saturada, não é liberado nenhum escoamento para o sistema de drenagem. A influência de um sistema de aproveitamento pluvial na retenção do escoamento é mostrada na Figura 102. Observe-se nesta figura a retenção do escoamento até o instante t_2 e a taxa decrescente da infiltração, devido à progressiva saturação do solo.

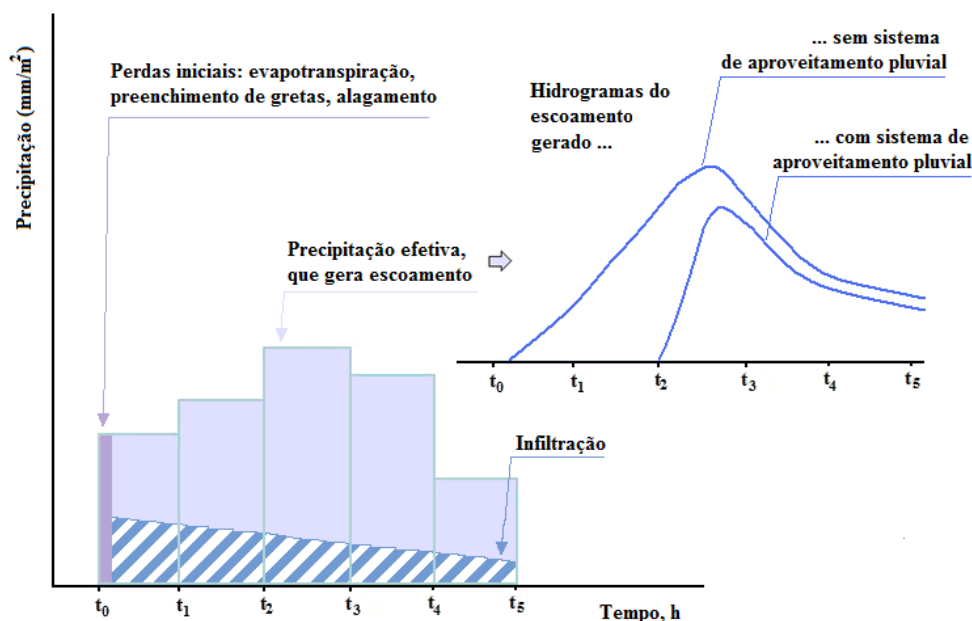
Figura 102. Precipitação efetiva e escoamento gerado em um local que possui um sistema de aproveitamento pluvial.



Já na Figura 103 é mostrada a precipitação efetiva e o escoamento gerado em um local sem

sistema de aproveitamento pluvial. O local possui somente uma pequena capacidade de retenção do escoamento, devido às perdas iniciais.

Figura 103. Precipitação efetiva e escoamento gerado em um local sem sistema de aproveitamento pluvial.



Retenção de chuva: Controle da Qualidade das Águas Pluviais

Além de controlar a vazão, as bacias de retenção podem servir para controlar a qualidade das águas pluviais que são vertidas às bacias hidrográficas às quais contribuem. No caso das bacias da EP-UFBA, as águas pluviais recebidas são vertidas para um canal na parte baixa do Campus de Ondina - UFBA, que funciona em parte como bacia de infiltração recarregando os aquíferos para armazenar água subterrânea. Esta bacia final, no bairro de Ondina junto do mar, está profundamente antropizada e apresenta uma grande parte da sua superfície impermeabilizada.

Uma bacia de retenção controla poluentes detendo o silte ao qual os poluentes aderem. O principal mecanismo de transporte para a maioria dos poluentes é aderir às partículas de silte conforme este é transportado em suspensão nas águas pluviais. A maior parte do transporte de poluentes ocorre no estágio inicial de um evento de chuva, já que as superfícies acumulam poeira, detritos e outros

contaminantes que tem estado acumulando-se desde a última chuva. As primeiras águas pluviais que escoam através das superfícies impermeáveis levam junto os poluentes suspensos. Mediante o armazenamento de parte deste escoamento inicial em câmaras de descarte inicial (*first flush*), e sedimentação das partículas de silte no fundo de caixas de areia e reservatórios, um sistema de aproveitamento de águas pluviais realiza uma contribuição considerável no controle da qualidade das águas pluviais que escoam pela superfície impermeabilizada do local onde esteja instalado. Este efeito benéfico na qualidade das águas aconteceria incluso para os eventos de chuva de uma intensidade tão grande que ultrapassem a capacidade dos reservatórios do sistema, pois pelo menos a chuva dos primeiros instantes, que contém a maior parte dos contaminantes, seria retida. No caso da EP-UFBA, o local considerado apresenta grandes áreas impermeáveis sujeitas a contaminação, em especial as áreas dos estacionamentos. A instalação de um sistema de aproveitamento pluvial exerceria, pelas razões aqui expostas, uma influência positiva na qualidade das águas que recebem os canais da parte baixa do Campus de Ondina.

APLICAÇÃO PARA REDUÇÃO DE CHEIAS E INUNDAÇÕES NA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR

Quanto mais impermeabilizada, mais sujeita a inundações e alagamentos estará a cidade. Salvador assim como outras grandes cidades do Brasil sofre periodicamente o problema das enchentes, com alagamentos e deslizamentos do terreno por causa das chuvas. Além de causarem prejuízos materiais e humanos, interrompem a atividade econômica, provocam doenças e poluem o ambiente.

Nesta cidade, a topografia acidentada associada ao tipo de solo (de rápida saturação), e à elevada pluviometria (com períodos de chuvas intensas e contínuas) criam condições favoráveis ao escoamento superficial. O processo de urbanização descontrolada, desmatamento, ocupação de encostas por moradias tanto de baixa como de alta renda e a subsequente impermeabilização do solo agravam este problema.

Um sistema de drenagem urbano deve aumentar o volume de água pluvial infiltrada nas depressões do solo e nas árvores e arbustos, promover o armazenamento temporário da água pluvial em locais pré-selecionados e permitir que, durante a ocorrência de precipitações intensas, se criem condições controladas de escoamento de superfície, ao longo das superfícies impermeabilizadas.

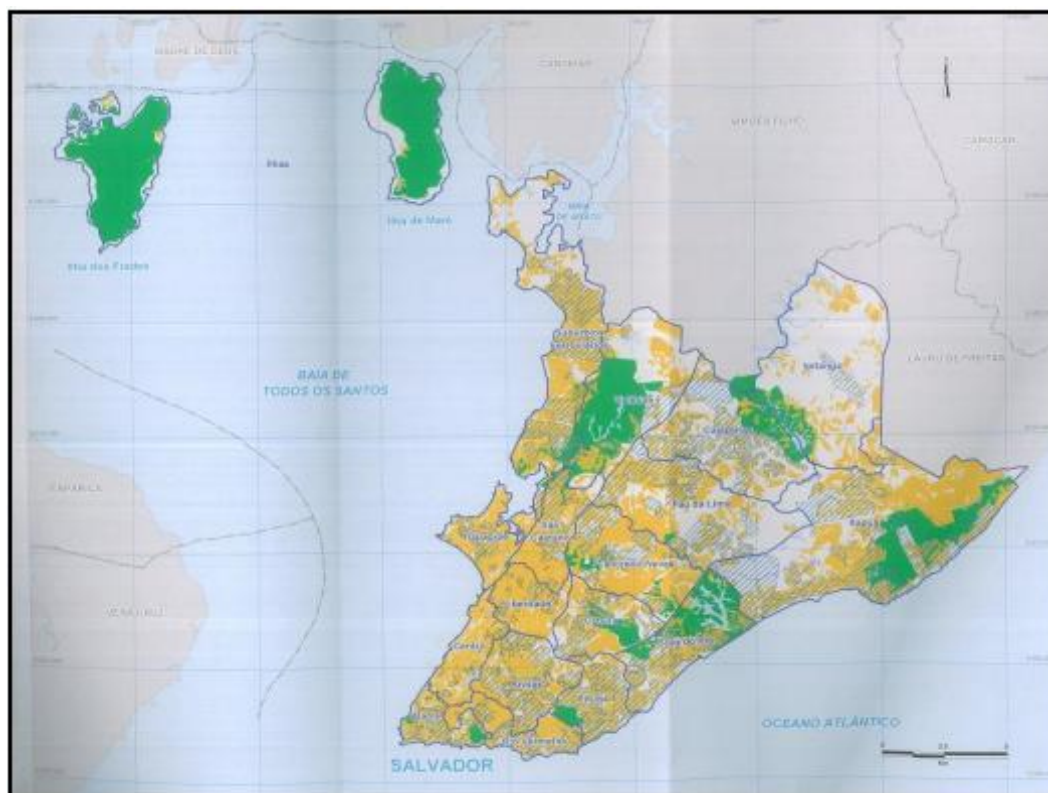
A existência de uma rede de drenagem urbana eficiente, capaz de minimizar os efeitos de inundações e alagamentos, é crítica para uma cidade das características de Salvador, que possui um

elevado potencial de geração de enchentes. Embora, a realidade constatada durante os últimos anos mostra que a rede existente não consegue captar e transportar eficazmente as chuvas de intensidade média/alta. Em época de chuvas, soteropolitanos e visitantes que transitam pela cidade devem aprender a conviver com áreas alagadas, pistas com asfalto deteriorado e acúmulo de detritos arrastados pela força das águas.

Ainda, uma combinação de fatores locais contribui a piorar a situação: em primeiro lugar, a deficiência da limpeza pública e do sistema de recolhida de lixo, sobre tudo no fundo dos vales e nas encostas, áreas ocupadas predominantemente por população de baixa renda. O lixo urbano fica acumulado em estruturas de drenagem urbana (bocas de lobo, sarjetas) e em calhas, canais e rios onde se criam condições favoráveis ao assoreamento e obstrução dos mesmos. Em segundo lugar, a oscilação do nível da maré interfere com os sistemas de micro e macrodrenagem, sobretudo nas áreas ribeirinhas da cidade. Em terceiro lugar, o elevado índice de ocupação das encostas, que além de impermeabilizar terrenos com alta declividade dificulta o escoamento natural para áreas baixas da cidade, com o consequente perigo de deslizamentos. Por último, a localização da cidade numa área favorável ao mosquito *Aedes aegypti*, vetor de transmissão da dengue, valoriza ainda mais a necessidade de um sistema de drenagem urbana em bom estado que evite o acúmulo de água parada.

A seguir, a Figura 104 mostra as áreas consolidadas e impermeabilizadas em 1998. Após esta data, durante os últimos 15 anos, a construção civil na cidade tem experimentado um *boom*, vivenciando um de seus maiores períodos de crescimento. Este crescimento tem consistido na substituição de casas unifamiliares por prédios de vários andares (verticalização) e na ocupação efetiva das áreas de expansão, também por grandes prédios de vários andares, com a correspondente impermeabilização do solo.

Figura 104. Áreas consolidadas e impermeabilizadas em 1998.



(Fonte: SALVADOR, 2000).

Neste mapa, o código de cores representa:

-  Áreas verdes
-  Áreas consolidadas e impermeabilizadas
-  Áreas sem ocupação e de expansão

Para o caso de Salvador, a maior parte da área impermeabilizada pertence a prédios e construções, cuja água de chuva recebida poderia ser captada, reservada e aproveitada com sistemas prediais similares aos considerados neste trabalho. A área restante corresponde ao espaço pavimentado entre construções.

A água de chuva que cai diretamente sobre as ruas, estradas, calçadas e pavimentos é de mais difícil captação e aproveitamento, e também de pior qualidade devido à maior presença de poluentes nestas superfícies.

A superfície total impermeabilizada por construções e prédios, na RMS, é 69.300 ha (SALVADOR, 2000). Adotando que cada ano chove em Salvador, em média, 2000 mm (por m²), esta região recebe por ano $1368 \cdot 10^6$ m³ de água de chuva.

Pode-se chegar a um valor realista para o potencial do volume de chuva que os sistemas prediais de aproveitamento pluvial poderiam captar na RMS, fazendo as três simplificações propostas a seguir.

A primeira simplificação seria considerar que, pelo menos numa etapa inicial, unicamente edifícios públicos, grandes prédios comerciais e edifícios de nova construção estariam em condições de adotar sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais.

As áreas ocupadas por este tipo de prédios são as indicadas na Figura 105 como “áreas de ocupação habitacional boa” e representam 34,72% da área total ocupada do município. São as áreas do mapa mostradas na cor cinza.

No mapa da Figura 105, o código de cores representa:

 Áreas de ocupação antiga, já urbanizada em 1920 (7,45 % da área ocupada)

 Áreas verdes e loteamentos sem ocupação

 “Grandes equipamentos”: Aeroporto, indústrias, UFBA, base militar, etc.

 Áreas de ocupação com condições de habitabilidade boa (34,72 %)

Áreas de ocupação com condições de habitabilidade deficiente:

 regular (21,43 %)  precária (18,17 %)  insuficiente (13,9 %)

The map displays the island of Florianópolis, Brazil, with various urban areas color-coded according to their condition. The legend indicates five categories: Antiga (black), Boa (grey), Loteamento sem ocupação (white), Grandes equipamentos (hatched), Represas e lagoas (light blue), Parques (green), Sistema viário principal (dark grey), Regular (yellow-green), Precária (blue), and Insuficiente (pink). The map also shows geographical features like Baía de Todos os Santos, OCEANO ATLÂNTICO, and several neighborhoods labeled such as São Tomé de Paripe, COUTOS, PIRAJÁ, ITAPUÁ, and others.

FONTE: Gordão-Souza, Angela. Limites do Habitar. EDUFBA, 2ª edição, 2008

LEGENDA

Ocupação Urbana e Condições de Habitabilidade

- Antiga (presença de cortiços)
- Boa (legalizada/infraestruturada)
- Loteamento sem ocupação
- Grandes equipamentos
- Represas e lagoas
- Parques
- Sistema viário principal

Grado de Deficiência:

- Regular
- Precária
- Insuficiente

Ocupação Habitacional

Categoria	Porcentagem
Precária	18,17 %
Insuficiente	13,90 %
Loteamento sem ocupação	4,30 %
Antiga	7,45 %
Boa	34,72 %
Regular	21,43 %

168

Este mapa apresenta um panorama heterogêneo para as edificações da RMS, das quais 54% são classificadas como “com condições de habitabilidade deficiente” (cores azul, verde e rosa).

A segunda simplificação seria considerar que, dentro deste grupo de edifícios, unicamente o 50% (a metade) deles adotariam sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais.

A terceira e última simplificação consistiria em adotar uma eficiência de 80% na captação da água de chuva, a qual seria reservada e aproveitada nos prédios. O restante 20% seria infiltrado no solo ou acabaria nos sistemas de drenagem urbano.

Após estas três simplificações, calculamos o volume de águas pluviais que poderia ser aproveitado num ano (eq 4):

$$\begin{aligned} [69.300 \text{ ha}] \cdot [34,72\%] \cdot [50\%] \cdot [80\%] \cdot [2000\text{mm}] \cdot \left[\frac{10^4\text{m}^2}{1 \text{ ha}}\right] \cdot \left[\frac{1 \text{ m}}{10^3\text{mm}}\right] = \\ = 194 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

eq 4: cálculo do volume de águas pluviais que poderia ser aproveitado na RMS, sob as três simplificações apresentadas.

Este volume de água de chuva captada nos prédios, reservada e retirada das ruas, corresponde a 14% da água total de chuva recebida pelo município por ano, e 52% do consumo anual de água (2013).

Este resultado leva à seguinte conclusão: a generalização em Salvador de sistemas prediais de aproveitamento pluvial, na escala proposta (sob as três simplificações consideradas) provocaria um impacto positivo no sistema de drenagem da cidade já que ofereceriam um uso ao 14% do volume de chuva recebido por ano. O maior impacto com certeza seria no consumo de água da cidade, cujos usos não potáveis poderiam ser abastecidos até totalizar um volume correspondente a 52% do consumo total de água.

A adoção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais nos prédios urbanos, numa escala razoável, provocaria um efeito sensível no controle de enchentes das cidades. Contudo, o maior benefício estaria no controle da qualidade das águas pluviais que são vertidas nos canais de drenagem e infiltração, e nos corpos de água receptores (rios e o mar). As conclusões obtidas para o caso da bacia de drenagem da EP-UFBA, cujo caso foi analisado no Capítulo 2.1.2 - “Melhora na Eficiência do Sistema de Drenagem do Prédio” podem ser extrapoláveis para o conjunto da cidade. Nesse capítulo, foi estabelecido que a contribuição de um sistema de aproveitamento pluvial para o bom

funcionamento do sistema de drenagem é maior na parte de controle da qualidade das águas pluviais que na atenuação da onda de cheia. Embora os reservatórios destes sistemas funcionem como pequenas bacias de retenção, seu efeito de atenuação da onda de cheia é limitado para chuvas de forte intensidade, quando é mais necessário, pois uma vez atingido seu volume máximo estes reservatórios *by-passeam* as águas pluviais para o sistema de drenagem tradicional.

Ou seja, para chuvas de intensidade baixa ou muito baixa, embora os sistemas de descarte (*first-flush*) reservariam parte da água precipitada, o sistema de drenagem urbano daria conta do volume de água escoada. E para chuvas de intensidade forte ou muito forte, e/ou muito frequentes (quando os reservatórios prediais estão cheios) a água captada nas coberturas seria conduzida (*by-passeada*) pelo sistema extravasor diretamente para a rede de drenagem urbana, perdendo-se assim o efeito de atenuação sobre a onda de cheia.

Um sistema de aproveitamento de águas pluviais realiza uma contribuição considerável no controle da qualidade das águas pluviais que escoam pela superfície impermeabilizada do local onde esteja instalado. Este efeito benéfico na qualidade das águas aconteceria incluso para os eventos de chuva de intensidade grande, pois pelo menos a chuva dos primeiros instantes, que contém a maior parte dos poluentes suspensos, seria retida. Contudo, o caminho mais eficiente para melhorar o sistema de drenagem urbano de Salvador passa por:

- Oferecer um uso urbano, não potável, para uma parte das águas pluviais recebidas.

O aproveitamento resultará uma solução ótima para precipitações frequentes e de intensidade pequena e média.

- Controlar a qualidade das águas pluviais vertidas nos corpos d'água receptores.

Os reservatórios dos sistemas de aproveitamento pluviais retêm a maior parte da poluição difusa que se deposita nas superfícies da cidade, entre chuva e chuva. Estes poluentes são arrastados na sua maioria durante os primeiros instantes de chuva.

- Infiltrar a maior parte possível das águas pluviais recebidas, para recarga dos aquíferos.

A capacidade de infiltração da RMS está muito comprometida na maioria das áreas devido à impermeabilização do solo.

- Permitir que, durante a ocorrência de precipitações intensas, se criem condições controladas de escoamento de superfície ao longo das superfícies impermeabilizadas.

A velocidade do escoamento deve ser controlada para reduzir o efeito de arraste e a erosão no terreno. A RMS possui várias áreas de risco impermeabilizadas, com forte declividade, e existência de construções irregulares nas encostas e ladeiras.

- Dar uma adequada manutenção ao sistema de drenagem, para que esteja em ótimas condições de escoar as águas pluviais de eventos de chuva de grande intensidade.

Nestes casos, resulta mais importante oferecer um adequado escoamento de emergência, sendo secundário o aproveitamento das águas pluviais. Para um grande volume de chuva recebido em pouco tempo, os reservatórios pluviais atingirão seu nível máximo, e a infiltração será mínima (o solo se saturará, ou não terá tempo suficiente de absorver a chuva).

APÊNDICE IV

ECONOMIA DE ENERGIA ASSOCIADA À REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA TRATADA

O cálculo da energia associada à água consumida enriquece a análise de ganhos econômicos e ambientais que a substituição desta por água de chuva produziria.

Um exemplo interessante está no trabalho de Proença et al (2011), os quais estimaram que uma redução no consumo de água de entre 30% e 60% seria possível em Florianópolis (460,000 habitantes) por meio de aparelhos sanitários de duplo acionamento, reuso de águas cinzas, e aproveitamento de água de chuva. Ao incluir no estudo a economia de energia que seria produzida por estas medidas, obteve-se uma redução prevista de 4,4 GWh por ano. Outro exemplo pode-se encontrar em Proença e Ghisi (2013) que adicionaram o cálculo desta “energia incorporada” ou “carga energética da água” ao estudo dos benefícios de medidas de economia de água em prédios comerciais (escritórios), dentre elas o uso de água de chuva.

Segundo o Sistema Nacional de Indicadores de Saneamento (SNSA, 2012) as empresas de saneamento representam quase 2,5% do consumo total de energia elétrica do Brasil. Esse consumo refere-se aos diversos usos nos processos de abastecimento de água e de esgoto sanitário, com destaque para os equipamentos de recalque, responsáveis por 90% do total.

O consumo de energia elétrica nessas empresas é, na maioria dos casos, o segundo maior item de custo operacional dos prestadores de serviços de saneamento, sendo que o primeiro é o relacionado às despesas com pessoal. De acordo com estudos elaborados pelo PROCEL-Programa de Conservação da Energia Elétrica da Eletrobrás (PROSAB, 2009) pelo menos 20% do consumo de energia elétrica no sector de saneamento podem ser economizados através de medidas para aumentar a eficiência energética: melhorias de procedimentos operacionais, correto dimensionamento dos sistemas, troca dos equipamentos obsoletos e uso de novas tecnologias.

Uma forma de avaliar o uso da energia elétrica e a eficiência de um sistema de bombeamento é

a adoção de um índice de consumo específico que traduz a quantidade de energia utilizada por unidade de volume movimentada.

Ao usar água de chuva em usos não potáveis, onde de outra forma seria usada água tratada da rede pública, estaremos economizando a energia gasta em captar, tratar e recalcar essa água tratada. Por meio do indicador energético kWh/m³ pode ser calculada a energia economizada ao substituir 1 m³ de água tratada por 1 m³ de água de chuva. Este indicador energético mede a energia elétrica (kWh) que foi gasta na captação, tratamento na ETA e recalque, para disponibilizar finalmente 1 m³ de água tratada no reservatório inferior de cada prédio urbano. Este indicador é geralmente usado em sistemas de bombeamento, para medir a eficiência energética de conjuntos motor-bomba. O objetivo do seu uso, para este capítulo, será avaliar o benefício, em termos de energia elétrica economizada, que o uso da água de chuva traria para a sociedade.

Adicionalmente, se a água de chuva captada nas coberturas dos prédios for reservada a uma altura tal que permita seu escoamento por gravidade, sem fazer uso de conjuntos motor-bomba, estará se gerando uma economia de energia nesse prédio. Isto é devido ao esquema de abastecimento predial geralmente utilizado no Brasil, no qual a água proveniente da rede passa a um reservatório inferior, desde onde é recalçada para um reservatório superior, e daí abastece por gravidade aos pontos de consumo do prédio. Este recalque predial é feito mediante conjuntos motor-bomba de pequena potência baixo rendimento, cujo consumo de energia impacta nas despesas de manutenção do prédio.

Outros indicadores úteis para avaliar a “carga energética” da água bombeada são:

- $\frac{\text{kWh/m}^3}{100\text{m}}$: indicador de Consumo Energético Normalizado (CEN), energia gasta para elevar 1 m³ de água a uma altura de 100 m.

- $\frac{\text{kWh/m}^3}{\text{km}}$: energia gasta no bombeamento de água por quilômetro de comprimento da rede.

Primeiramente, a água bruta obtida de um manancial é tratada numa Estação de Tratamento (ETA), onde é submetida a processos de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção de pH. Um intervalo aproximado do custo elétrico destes tratamentos (sem

contar os produtos químicos) é de (0,02 a 0,07) kWh/m³ de água bruta tratada (LAGUNA e CORDEIRO, 2005). A energia necessária para a produção de cloro e outros elementos químicos usados no tratamento de água e esgoto significa um uso adicional de energia de (0,005 a 0,028) kWh/m³ (ALLIANCE TO SAVE ENERGY, 2012).

O livro “Abastecimento de água: gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento: guia do profissional em treinamento: nível 2” (SNSA, 2008) considera como valor de referência 0,6 kWh de energia elétrica para produzir 1m³ de água potável. Segundo a SNSA (2012), a energia elétrica consumida por m³ bombeado ou fornecido ao sistema varia de 0,4 kWh/m³ a 1,2 kWh/m³ entre as companhias estaduais de saneamento no Brasil. Essa é a energia consumida para que a água atinja a rede de distribuição com pressão adequada para o abastecimento, entre (10 e 50) m de coluna de água.

A seguir, na Tabela 11, é apresentado o consumo elétrico do Sistema Interligado de Abastecimento de Água da RMS no ano de 2008. Este consumo engloba as elevatórias, tratamento, assim como iluminação e consumos auxiliares.

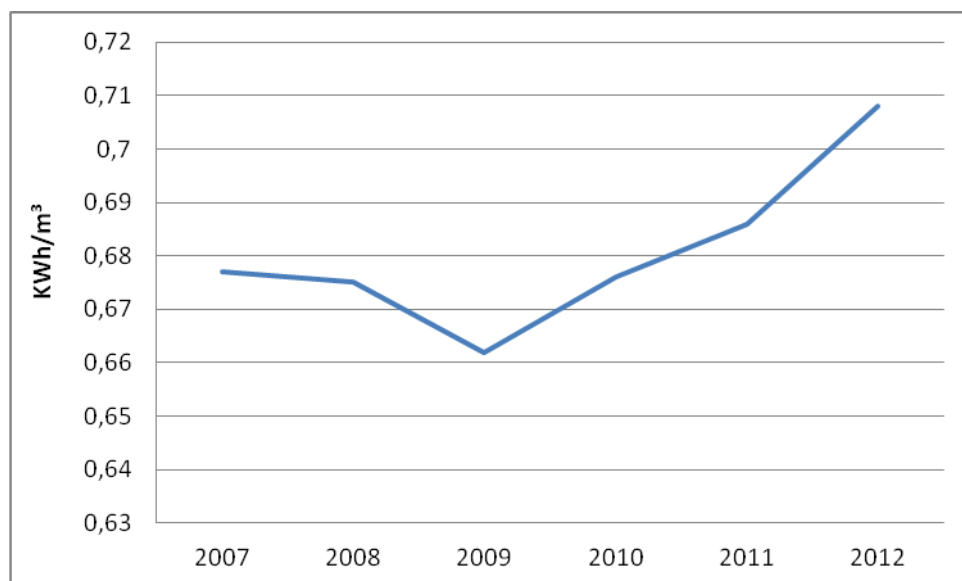
Tabela 11 : Consumo elétrico dos subsistemas que conformam a rede de abastecimento de água da RMS, no ano 2008.

Unidade/região	Descrição	População abastecida 2008	Consumo elétrico 2008 (kWh)
OMP	Sistema Produtor	3.726.578	205.456.182
UMF	Federação	817.905	5.239.569
UML	Cabula	857.985	6.981.530
UMB	Bolandeira (parte de Salvador, todo Simões Filho e Lauro de Freitas)	908.453	72.457
UMJ	Pirajá	834.273	2.546.704
UMC	Camaçari	232.045	23.834.371
UMS	Candeias	75.917	5.077.711
TOTAL	RMS	3.726.578	249.208.524
Despesas gastas em energia elétrica em 2008:			R\$ 48.838.000

Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico (SALVADOR, 2010).

A equipe do Departamento de Eficiência Energética da EMBASA (EMBASA: TSE, 2013), avaliou o indicador energético de consumo específico de energia atual (ano 2012) em 0,708 kWh/m³, para a RMS. A evolução deste indicador nos últimos anos é apresentada na Figura 106.

Figura 106. Evolução do indicador energético kWh/m³ durante os últimos anos. Consumo específico de energia no sistema de abastecimento de água da RMS.



Fonte: (EMBASA: TSE, 2013).

Portanto, considerando um valor de referência de 0,061 kWh/m³ gastos na etapa produção de água potável (produtos químicos + tratamento) e 0,708 kWh/m³ na etapa de recalque e distribuição segundo o valor calculado pela EMBASA, o custo energético médio da água consumida na RMS é:

$$\begin{array}{rcl}
 0,061 \frac{kWh}{m^3} \text{ (produtos químicos + tratamento)} & \xrightarrow{\quad} & \\
 & \xrightarrow{\quad} & 0,769 \frac{kWh}{m^3} \\
 0,708 \frac{kWh}{m^3} \text{ (recalque e distribuição)} & \xrightarrow{\quad} &
 \end{array}$$

Por último, considerando que a EMBASA tinha em 2010 um índice de perdas físicas na rede de distribuição avaliado em 37% (SNSA, 2012), pode-se concluir que por cada m³ de água de chuva usada num prédio, estão sendo economizados 1,37 m³ de água tratada produzidos nas ETAs da Região Metropolitana de Salvador.

O valor final do indicador energético calculado para a cidade de Salvador, tendo em conta as perdas físicas de água, resulta:

$$1,053 \frac{kWh}{m^3}$$

Assim, cada m^3 de água potável distribuído na região considerada consumiu uma média de 1,053 kWh de energia elétrica desde sua captação no manancial até sua chegada no reservatório inferior dos prédios. Esta seria a energia economizada ao substituir $1 m^3$ de água tratada por $1 m^3$ de água de chuva, na RMS. Para o caso de água de chuva reservada em cotas tais que sua distribuição por gravidade seja possível, estará se economizando também a energia gasta no bombeamento predial (recalque desde o reservatório inferior até o superior).

Por outra parte, o sistema de drenagem pluvial é separador absoluto (decorre separadamente da rede de esgoto) para microdrenagem (pequenas bacias e bairros) na RMS. Embora, numa escala maior (macrodrenagem) funciona como um sistema integrado com a rede de esgotos, em várias áreas da cidade que ainda não dispõem da infra-estrutura necessária (interceptores exclusivos para esgoto). Isto quer dizer que a água de chuva drenada das ruas se mistura com o esgoto, e esta mistura diluída resultante acaba nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) da cidade.

A consequência deste escoamento da drenagem urbana para a rede de esgoto é um maior custo no tratamento, pois esgoto concentrado tem um tratamento mais eficaz e de menor custo. Além disso, os diâmetros das tubulações de esgoto são determinados pelo escoamento da água da chuva, sendo assim maiores do que realmente seria necessário para o esgoto concentrado, não diluído pela água de chuva.

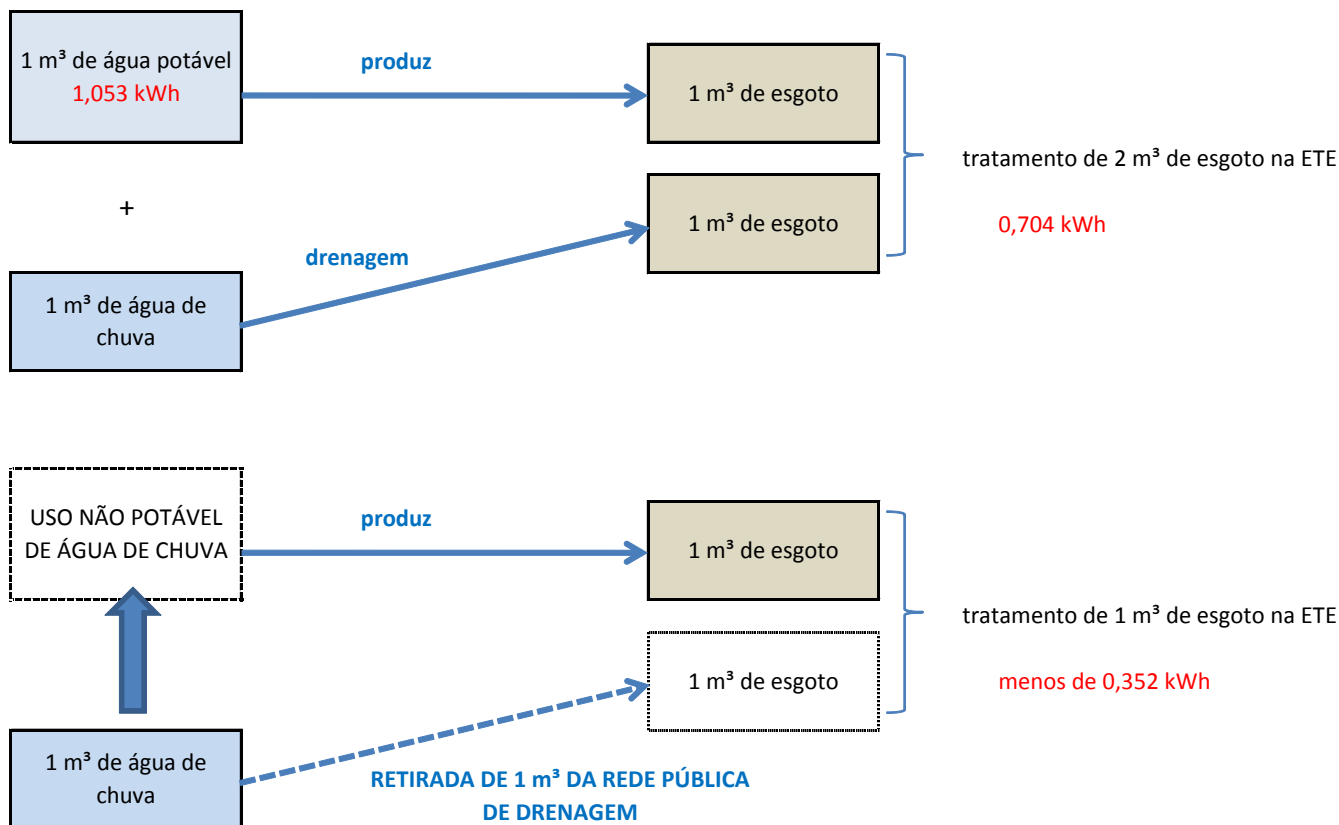
A energia consumida no tratamento dos efluentes do esgoto (valor médio consumido por uma ETE no Brasil) oscila em torno de $0,352 \text{ kWh}/m^3$ (GROTHER, 2006) Este custo energético corresponde à última parcela do ciclo da água consumida nas sedes urbanas, formado por captação, recalque, tratamento na ETA, distribuição, tratamento do esgoto na ETE e vertido final.

Para cada m^3 de água tratada substituída por água de chuva, após seu uso para fins não potáveis nos prédios e seu escoamento para a rede de esgoto, ainda seria necessário gastar energia no seu tratamento final na ETE. Embora continue a produzir $1 m^3$ de esgoto, o balanço será positivo na rede de esgoto: a retirada desse m^3 de água de chuva da rede de drenagem da cidade reduzirá o diâmetro necessário das tubulações desta rede e provocará que o tratamento na ETE seja mais eficaz (e demande

menos energia).

Para ilustrar o potencial de economia de energia na substituição de 1 m³ de água potável por 1 m³ de água de chuva, na RMS, apresenta-se o seguinte esquema (Figura 107).

Figura 107. Potencial de economia de energia na substituição de 1 m³ de água potável por 1 m³ de água de chuva, na RMS.



A parte superior representa o consumo energético por m³ de água proveniente da rede pública. A água de chuva escoar para a rede de esgoto, e o custo energético total é de 1,793 kWh/m³. Na parte inferior, cada m³ de água da rede substituído por água de chuva gera uma economia de pelo menos 1,405 kWh. Não foi considerado bombeamento predial em nenhum dos dois casos. Assim mesmo, foi considerado 100% de atendimento à população para a rede de esgoto.

Embora esta economia de energia não suponha benefício direto no consumidor predial, o benefício para o conjunto da sociedade pode ser significativo. Se, por exemplo, 20% da água potável consumida

na RMS fosse substituída por água de chuva, a economia de energia gerada ($1,405 \text{ kWh/m}^3$) ascenderia a $104,7 \text{ GWh}$, segundo a demanda calculada para 2013.

Dutra (2007) calculou a energia economizada por m^3 de água de reúso, para a Escola Politécnica de Salvador. Este autor calculou que $64,61\%$ da água que chega a Salvador provém da Barragem Pedra de Cavalo, com um custo energético (captação, adução, tratamento e distribuição) de $0,580 \text{ kWh/m}^3$.

Estimou, seguindo informações da EMBASA, um valor do indicador energético de $0,180 \text{ kWh/m}^3$ para as estações elevatórias de esgoto da RMS. Este valor, adicionado ao anterior, dá um custo energético de $0,760 \text{ kWh}$ por m^3 de água potável.

Finalmente, devido a que a energia consumida na RMS provém na sua maior parte das usinas hidrelétricas do Rio São Francisco, chegou à conclusão de que cada m^3 de água fornecida a Salvador consome em energia elétrica o equivalente a $5,36 \text{ m}^3$ de água do Rio S. Francisco, que após gerar energia nas turbinas irão para ao mar sem outra utilização.

Embora, esse trabalho não teve em conta o índice de perdas de água na rede de distribuição, que ascende a um nada desprezível 37% . Também não contabilizou o gasto de energia no tratamento do esgoto nas ETEs. Considerando estes dois fatores, chega-se a um valor de $1,147 \text{ kWh}$ por m^3 de água potável. Adicionando mais $0,352 \text{ kWh}$ por m^3 de água pluvial retirado da rede de esgoto, chega-se a um valor total do indicador energético de $1,499 \text{ kWh/m}^3$, próximo dos $1,405 \text{ kWh/m}^3$ calculados anteriormente.

Por último, é gasta uma energia no bombeamento predial, cujo valor é pago diretamente pelo consumidor final. Consideremos o bombeamento predial da EP-UFBA. Cada m^3 de água consumido no prédio é previamente bombeado desde o reservatório inferior para o superior, com um custo energético de:

$$0,371 \text{ kWh/m}^3$$

Este valor do indicador energético do recalque predial surge de dividir o consumo de energia do motor em uma hora (kW em 1 hora ou kWh), entre a vazão bombeada nesse período de tempo, como mostra a eq 5:

$$\frac{\text{Potencia nominal do motor} + \text{perdas (10\%)}}{\text{Vazão da bomba no ponto de trabalho}} = \frac{3,9 \text{ kW}}{10,5 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,371 \text{ kWh/m}^3$$

eq 5: indicador energético do recalque predial da EP-UFBA

O valor desta energia pode ser acrescentado ao valor do m³ de água potável da rede da concessionária, de forma que estes dois valores somados dão um valor final da economia produzida por cada m³ de água de chuva aproveitado no prédio.

O recalque da água até o reservatório superior é realizado de maneira automática, tanto em horário de ponta como de fora de ponta. Assim, realiza-se uma aproximação supondo um bombeamento realizado 12,5% do tempo (3/24 = 0,125) em horário de ponta (3 horas por dia) e o restante em horário de fora de ponta (21 horas por dia). A estrutura tarifária da EP-UFBA ainda faz distinção entre período úmido ou seco (a depender do mês do ano). Para simplificar, e devido à pouca diferença entre estes valores para esta tarifa, consideraremos somente período SECO.

Os valores finais por kWh consumido na EP-UFBA, apresentam-se na última coluna da Tabela 12:

Tabela 12. Tarifa energia Horosazonal - Verde A4 (2,3 a 25kV).

DESCRIÇÃO	TARIFA	ALÍQUOTAS		PREÇO FINAL
		ICMS	PIS/COFINS	
kWh NP - SECO	1,66232000	18,36%	6,12%	2,20116525
kWh NP - UMIDO	1,63649000	18,36%	6,12%	2,16696239
kWh FP - SECO	0,15651000	18,36%	6,12%	0,20724311
kWh FP - UMIDO	0,14152000	18,36%	6,12%	0,18739406
kVArh NP/FP - SECO/UMIDO	0,14310000	18,36%	6,12%	0,18948622
kW / kVAr	19,64000000	18,36%	6,12%	26,00635593
kW Ultrapassagem	39,28000000	18,36%	6,12%	52,01271186

Fonte: (COELBA, 2013)

O custo da energia economizada em cada m³ de água potável da rede substituído por água de chuva é (eq 6):

$$0,371 \frac{kWh}{m^3} \cdot \left((12,5\% \text{ NP}) \cdot 2,20116 \frac{R\$}{kWh \text{ NP}} + (87,5\% \text{ FP}) \cdot 2,2072 \frac{R\$}{kWh \text{ FP}} \right) = 0,818 \frac{R\$}{m^3}$$

eq 6 : cálculo do custo da energia gasta no bombeamento predial da EP-UFBA, por m³.

O custo total de cada m³ de água potável da rede substituído por água de chuva é (eq 7):

$$26,154 \frac{R\$}{m^3} (\text{água da concessionária}) + 0,818 \frac{R\$}{m^3} (\text{energia}) = 26,972 \frac{R\$}{m^3}$$

eq 7 : cálculo do custo total do m³ de água consumida na EP-UFBA (água da concessionária + energia do bombeamento predial)

Isto é, tendo em conta os custos energéticos do bombeamento predial, o valor do m³ de água potável consumida no prédio aumentou 3,1 %.

Resumindo, na Região Metropolitana de Salvador a água possui uma “energia incorporada” ou “carga energética” de 1,499 kWh/m³. Ainda, a este valor pode ser adicionado a energia gasta no bombeamento predial que para o caso da EP-UFBA corresponde a 0,371 kWh/m³.

Os projetos de aproveitamento de água de chuva costumam ser pouco intensivos energeticamente. Tipicamente compreendem uma bomba que recalca as águas pluviais até um reservatório superior de distribuição, com carga suficiente para ainda impulsioná-la através de um filtro. Outros elementos adicionais como bombas dosadoras de cloro, sistemas de controle ou lâmpadas UV podem aumentar o consumo de energia destes sistemas. Para o sistema projetado para a EP-UFBA, onde o recalque da água de chuva captada é de apenas 5 mca, o consumo energético é 0,11 kWh/m³. Autores como Vieira et al (2014) estudaram o consumo energético de sistemas de aproveitamento de chuva, indicando valores teóricos de 0,20 kWh/m³ e valores empíricos de até 1,40 kWh/m³. Com tudo, pode se afirmar que a substituição de água tratada da rede por água de chuva captada localmente provoca ganhos energéticos netos que podem ser adicionados aos benefícios econômicos e ambientais da água economizada.

APÊNDICE V

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE CONTAMINAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE ÁGUA DE CHUVA CAPTADA EM TELHADOS

1. Introdução

O crescimento das áreas urbanas demanda um aumento continuado do fornecimento de água. Devido a que a maior parte dos mananciais e aquíferos urbanos está sobre-explorados ou poluídos, a água deve ser importada desde reservatórios distantes com as correspondentes perdas de energia e vazamentos. Em muitas regiões do mundo, têm surgido conflitos sobre o uso dos recursos de água sobre-explorados, confrontando seus diferentes usos: abastecimento humano, irrigação e gado, indústria. Inclusive a hidroeletricidade, especialmente nas regiões semi-áridas ameaçadas por secas recorrentes, tem sido envolvida em conflitos pelo uso da água (DE JONG et al., 2013).

Neste contexto, qualquer tecnologia que forneça localmente (no local onde é consumida) uma certa quantidade de água com uma qualidade aceitável, é mais do que bem-vinda. Junto com programas de conservação de água e dessalinização de água do mar, o interesse pelas fontes de água alternativas aos sistemas de abastecimento tradicionais, centralizados tem decolado em décadas recentes. Dentre estas alternativas, o reuso da água, o uso de águas cinza e o aproveitamento da água de chuva tem recebido uma atenção especial. Desta forma o aproveitamento da água de chuva, que há umas poucas décadas era unicamente um recuso válido em áreas rurais que não possuíam cobertura da rede de água, tem começado a ser vista como uma opção conveniente para áreas urbanas já desenvolvidas.

A água de chuva apresenta uma série de vantagens em alguns de seus parâmetros físico-químicos, quando comparada com a água da rede ou com as águas subterrâneas. Tem menor dureza e sólidos suspensos totais, o que faz dela adequada para alguns usos como lavanderias ou torres de resfriamento. Jardinagem e paisagismo são usos tradicionais para a água de chuva em áreas urbanas. As águas pluviais apresentam baixa sodicidade e são por tanto adequadas para irrigação. Segundo Kabir et al. (2014) apesar da poeira urbana estar altamente poluída com metais, 75 % dos metais poluentes lixiviados pelas águas pluviais podem ser retidos pelas infra-estruturas verdes, as quais usam vegetação, solos e processos naturais para drenar, percolar e armazenar água. Outros usos não potáveis considerados são descargas nos aparelhos sanitários e lavagem de superfícies nos prédios, o que supõe uma grande parte da demanda de água dos prédios urbanos. Sistemas de aproveitamento de água de chuva bem projetados com superfícies de captação limpas, cisternas e tanques de reservação cobertos, assim como tratamento simples apoiado por boas práticas de higiene podem oferecer água para usos não potáveis com um risco para a saúde muito baixo.

Tratamentos comumente disponíveis para a água de chuva captada são: a aplicação de tanques de sedimentação, desinfecção combinada com filtração por membrana, osmose reversa (WANG et al., 2014), tratamento por aquecimento (SPINKS et al., 2006), desinfecção solar-SODIS (AMIN et al., 2014a, 2014b; AHAMMED et al. 2014) e filtrado lento em areia seguido de cloração (MOREIRA NETO et al. 2012).

Os íons de prata combinados com filtração convencional e mecanismos de sedimentação é outro tipo de tratamento acessível que oferece bons resultados (ADLER et al., 2011). Além disso, sistemas nos pontos finais de consumo como lâmpadas UV (JORDAN et al., 2008) e desinfecção por ozônio (HA et al. 2013) são uma tendência crescendo no tratamento da água de chuva para usos potáveis. O melhoramento da água de chuva captada em telhados até atingir patamares de potabilidade está ganhando popularidade em ambientes urbanos com pequenos sistemas nos pontos de consumo, enquanto nas áreas rurais com população espalhada onde a água da rede não está disponível esta opção poderia preencher esta carência e desta forma melhorar grandemente as condições sanitárias locais. Sazakli et al. (2007) mencionou que as baixas concentrações de fluoreto na água da chuva poderiam forçar aos consumidores a tomar suplemento de fluoreto para evitar cáries dental se a água de chuva for a fonte de água primária.

Dado este contexto, há uma necessidade crescente por informação e orientações sobre as fontes mais comuns de poluentes da água de chuva captada nos telhados das áreas urbanas. A literatura disponível que trata sobre este tema é ampla. Avalia vários temas tangenciais embora conectados: a detecção de contaminantes químicos ou microbiológicos específicos na água de chuva; análises comparativas de água de chuva ao redor do mundo; a deposição de poluentes atmosféricos nas superfícies urbanas, sua retirada da atmosfera, acumulação e posterior lavagem; e a influência do material do telhado e do método de armazenamento, entre outras. Esta revisão bibliográfica alveja resumir e analisar uma boa parte dos trabalhos científicos relevantes que tem abordado as diferentes partes deste problema, recopilando-os para melhor compreender os mecanismos e as fontes poluidoras que influenciam a qualidade final da água de chuva captada em um médio urbano. Contaminantes tradicionais e emergentes, junto com as bactérias e patógenos transmitidos pela água são considerados. Esta revisão também representa uma atualização de trabalhos prévios de revisão bibliográfica (LYE et al., 2009; ABBASI, 2011; AHMED et al., 2011; KWAADSTENIET et al., 2013).

A abordagem desta revisão compreende três estágios que podem afetar à qualidade da água de chuva coletada, e suas diferentes cargas poluidoras. O primeiro estágio refere-se à retirada dos poluentes atmosféricos pela chuva (deposição úmida). Em segundo lugar, a lavagem das partículas

depositadas na superfície de captação (deposições secas e matéria orgânica). E em terceiro lugar, o estágio que compreende a captação seguida do descarte inicial (*first-flush*), filtragem pré-tanque e reservação nos tanques de água de chuva.

2. Contaminação da água de chuva devido às deposições atmosféricas em áreas urbanas

A deposição atmosférica é a transferência de poluentes atmosféricos (poeira, matéria particulada contendo metais pesados, hidrocarbonos policíclicos aromáticos, dioxinas, furanos, sulfatos, nitratos, etc.) para os ecossistemas terrestres e aquáticos (AMODIO et al., 2014). Muitos destes poluentes podem estar presentes em áreas urbanas, em proporções variáveis de acordo com a intensidade do trânsito rodado e a proximidade dos centros industriais. Fontes dos contaminantes depositados desde a atmosfera pela lavagem desta e pela deposição de poeira podem ser o trânsito rodado (FANG e ZHENG, 2014), a maresia ou spray marinho, atividades industriais e rurais, poeira local e o transporte de longo alcance desde outras áreas. Sua presença na atmosfera das cidades e subsequentemente na água de chuva que escoar pelos telhados tem uma grande variabilidade espacial já que a difusão destes poluentes pertence a uma escala que excede qualquer análise local. Também depende de fatores meteorológicos (velocidade do vento, temperatura, umidade relativa), das características das partículas (tamanho e forma) as quais irão definir o quanto de longe essas partículas irão viajar, e o intervalo de tempo médio entre eventos de chuva, devido a que as partículas depositadas são acumuladas entre esses intervalos.

A deposição seca é um processo que não é influenciado pela precipitação: as partículas são carregadas pelo vento e eventualmente caem desde a atmosfera até os solos e superfícies urbanas. Vários mecanismos estão envolvidos na deposição seca: difusão turbulenta, sedimentação, difusão Browniana, interceptação, focos de inércia, migração elétrica, termoforese, e difusoforese (ZUVALL e DAVIDSON, 1998).

A deposição oculta consiste nas gotas de água depositadas pela interceptação da névoa, neblina ou nuvens, a qual desempenha um papel significativo no caso de uma área frequentemente coberta por nuvens, mas é desprezível na maioria das áreas urbanas. Bridges et al. (2002) reportaram que uma proporção substancial das deposições úmidas de sulfatos (SO_4^{2-}) e nitritos (NO_3^-) originados por uma área industrial e transportados para uma floresta, era devida à deposição oculta na forma de névoa e

geada. Vários trabalhos abordando a deposição oculta em florestas tem sido realizados, embora também há trabalhos relevantes focados em alguns meios urbanos, como é o caso da cidade de Delhi (ALI et al. 2004) onde alguns constituintes químicos foram achados em concentrações mais elevadas na água da névoa que na água de chuva. Beysens et al. (2006) compararam a qualidade da água de orvalho (que está associada às deposições ocultas) com respeito à água de chuva, medindo suas propriedades físico-químicas e bacteriológicas.

Finalmente, a deposição úmida refere-se à lavagem do ar pela chuva, que captura os poluentes dentro das gotas de chuva e os transfere para o solo. Após a lavagem do ar pela chuva, o transporte destas partículas continua a medida que o escoamento das águas pluviais lava as superfícies urbanas que contém camadas de deposições secas que foram assentando-se entre eventos de chuva.

O processo de coleta pelo qual os contaminantes são retirados do ar pela chuva foi abordado por vários autores (SHIVALINGAIAH e JAMES, 1984, 1987; LIU et al., 2014). Dentro deste processo, as partículas são incorporadas nas gotas de água e nos cristais de gelo dentro e embaixo das nuvens. A coleta de partículas pela precipitação é a responsável pela vasta maioria das deposições úmidas de produtos químicos orgânicos hidrofóbicos (ATLAS e GIAM, 1988) sendo portanto o processo mais importante para a remoção de muitos contaminantes orgânicos voláteis e semivoláteis, segundo Götz et al. (2008). A lavagem do ar que circula sobre as cidades acontece rapidamente e durante a fase inicial do evento de chuva, de forma que este processo é quase independente da intensidade e volume da chuva.

Duncan (1995) descreveu os processos físicos que contribuem à contaminação das águas pluviais, e afirmou que a deposição atmosférica faz uma contribuição importante à contaminação das águas pluviais, fornecendo tipicamente nitrogênio e uma proporção menor de sólidos suspensos, fósforo, carbono orgânico dissolvido (COD), e metais pesados. No tocante à deposição atmosférica de nitrogênio, este autor também considera que a concentração de nitrogênio total na chuva em áreas urbanas está tipicamente compreendida entre 1.0 e 2.0 mg/L. Estas cargas de nitrogênio inorgânico excedem a concentração limite para a proliferação de algas de 0.30 mgN/L (WEIBEL et al., 1966), que poderiam desta forma proliferar nos reservatórios de água de chuva sob condições adequadas. Nitrogênio orgânico na forma de pólen, esporas, bactérias e outras substâncias podem também fazer uma contribuição importante à concentração de nitrogênio total na água de chuva, dependendo da estação do ano e das condições climáticas e do vento. Junto com as cargas de nitrogênio devidas às deposições úmidas e secas, amônio e fósforo de fontes naturais como fezes de pássaros e líquens que contaminam o escoamento do telhado podem ser também adicionadas à água de chuva. Além do

fósforo de origem orgânico que irá ser adicionado depois à água de chuva interceptada e escoada, a concentração de fósforo inorgânico presente na chuva (na forma de fosfato, PO_4^{3-}) pode por se mesma exceder o valor limite de concentração para a proliferação de algas de 0.03 mg P/L (WEIBEL et al., 1966). Duncan (1995) propôs uma concentração média de sólidos suspensos de 20 mg/L e um intervalo de 0.01 a 0.1 mg/L para o fósforo na água de chuva em áreas urbanas.

A chuva contém vários íons retirados da atmosfera ou transportados pelos frentes de chuva. Estes íons podem ser originados por várias fontes poluidoras, sejam estas naturais (tormentas de poeira, aerossol marinho) ou derivadas da atividade antropogênica. Estas fontes podem estar localizadas longe da área final na qual o evento de chuva irá depositar os íons.

Segundo Junge e Werby (1958), a maior fonte de cloreto (Cl^-) na água de chuva é o oceano. O excesso de material proveniente do solo pode incrementar os níveis de concentração de íons de sódio (Na^+) e potássio (K^+), enquanto o cálcio (Ca^{2+}) pode estar associado com a ocorrência de tormentas de poeira. A maior parte do sulfato (SO_4^{2-}) presente na água de chuva que cai no oceano e nas áreas costeiras é originada pelo aerossol marinho. A fonte adicional de SO_4^{2-} na água de chuva foi identificada como originária do solo (70%) e das atividades humanas (30%).

Ozeki et al. (1995) analisaram a presença de íons na água de chuva e identificaram suas diferentes fontes poluidoras. Alguns íons achados na chuva eram originários das sais marinhas: íons cloreto, sódio, e magnésio (Mg^{2+}). Este estudo também identificou os íons originados numa fonte poluidora que acidificava a chuva: íons nitrato e sulfato do trânsito rodado e das indústrias, amônio (NH_4^+), e hidrogênio (H^+); aqueles íons originados numa fonte poluidora que basificava a chuva: íons cálcio provenientes da poeira do solo, amônio proveniente do gás amônia (NH_3) gerado em atividades agrícolas, e nitrato; e finalmente, uma fonte poluidora de íons potássio originário da aplicação de fertilizante ou da queima de biomassa. A presença de nitrato originado pela atividade antropogênica na chuva é recorrente nas áreas urbanas ao redor do mundo. Na Região Metropolitana de São Paulo (Brasil) que é a maior área urbana de América do Sul com 20 milhões de habitantes, análises mediante cromatologia iônica revelou NH_4^+ e NO_3^- como os íons prevalentes (Martins et al., 2014). A maior parte do nitrato e outros óxidos de nitrogênio assim como o amônio presente no escoamento pluvial poderão finalizar contribuindo à poluição das águas subterrâneas nas áreas urbanas (UMEZAWA et. al, 2008; 2009).

As atividades antropogênicas podem influenciar fortemente a concentração dos íons presentes na chuva. Casado e Encinas (1995) estudaram a relação entre a fração particulada atmosférica e o

conteúdo iônico da precipitação uma área sob a influência de uma usina incineradora de lixo. Íons de SO_4^{2-} e NH_4^+ foram as espécies mais importantes achadas na fração particulada da atmosfera, e contribuíram inteiramente para a presença de íons na chuva. O íon Ca^{2+} passou das partículas para a chuva numa taxa de 22%. A atmosfera desta área industrial também continha gás HCl que foi lavado pela chuva, desta forma retirando Cl^- (95% da quantidade total presente no gás) que foi depois achado em concentrações muito elevadas nas amostras de chuva analisadas.

Informações extensas sobre partículas urbanas transmitidas por meio do ar podem ser encontradas em Zereini e Wiseman (2011), especialmente aquelas relacionadas com suas fontes, composição e concentração assim como seu conteúdo em metais e compostos orgânicos.

Aikawa et al. (2014) estudaram a influencia do tipo de local nas deposições atmosféricas de NO_3^- e SO_4^{2-} na água de chuva. Este estudo foi realizado para séries de precipitação com incrementos progressivos de 0.5 mm e alvejava determinar se os mecanismos de lavagem do ar e das superfícies diferiam com o local. Os resultados mostraram que nas áreas urbanas a contribuição da lavagem na deposição de NO_3^- foi de 70% enquanto nas áreas suburbanas e rurais esta contribuição foi de 66%. A lavagem de superfícies totalizou 50% das deposições de SO_4^{2-} nas áreas suburbanas e rurais e 80% nos locais urbanos.

Com respeito ao nível de acidez na água de chuva, este é altamente dependente da trajetória seguida pela massa de ar e pode ser influenciada pela passagem por áreas industriais distantes. Em áreas costeiras do Sudeste da Europa, níveis de acidez dez vezes por encima da média foram achados em eventos de chuva associados com massas de ar que eram procedentes de países industrializados da Europa Central e transportadas para o oceano (PIO et. al, 1991).

A acidificação da chuva pode ser originada pela atividade antropogênica. Gases de óxido de nitrogênio (NO_x) e dióxido de enxofre (SO_2) são exaustos das chaminés das fábricas e dos automóveis. Mais adiante, reações fotoquímicas transformam estes compostos em ácido nítrico (HNO_3) e ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Os fatores que controlam a acidez natural da chuva foram expostos por Charlson e Rodhe (1982), os quais assumiram que o pH da água de chuva está controlado em condições naturais pela dissociação do CO_2 dissolvido e que descidas abaixo de seu valor típico de 5.6 são devidas à adição de componentes acidificantes provenientes da atividade humana.

A formação da chuva ácida também depende do peróxido de hidrogênio (H_2O_2), que pode ser produzido de forma natural pelos raios durante as tormentas (ZUO e DENG, 1999) junto do oxigênio e

do ozônio (PENKETT et al., 1979a). O peróxido de hidrogênio age como um oxidante eficiente na conversão do dióxido de enxofre (SO₂) para ácido sulfúrico (H₂SO₄) que acidifica as nuvens e subsequentemente a água de chuva. Deng e Zuo (1998) assim como Peña et al. (2000) estudaram os fatores que afetam os níveis de peróxido de hidrogênio na água de chuva. Estes estudos mediram parâmetros químicos e meteorológicos junto com os níveis de peróxido de hidrogênio na água de chuva, cuja concentração variou desde 0.3 até 38.6 µM em eventos de chuva em Miami (EUA) e desde 2·10⁻³ até 2.7 µM no Noroeste da Espanha. Marle e Greenway (2005) obtiveram uma variação nas concentrações de peróxido de hidrogênio de 0.1 a 3.2 µM em amostras de chuva no RU. O efeito da chuva ácida sobre a qualidade da água de chuva captada, num sistema de aproveitamento, foi estudado por King e Bedient (1982), e por Sharp e DeWalle (1985).

A deposição atmosférica de ácidos orgânicos pode também ser significativa em alguns locais urbanos, e pode também influenciar o pH da água de chuva. A presença de ácidos carboxílicos e aldeídos (que podem ser oxidados e desta forma se tornar uma fonte relevante de ácidos orgânicos) na água de chuva foi discutida por Peña et al. (2002). Neste estudo, os ácidos mais frequentes achados nas amostras de água de chuva foram ácido fórmico e ácido acético e, em menor medida, ácidos oxálico, láctico e cítrico, enquanto os aldeídos presentes em maior grau foram acroleína, formaldeído e acetaldeído. Apesar de que a precipitação na área de estudo estava influenciada pela presença de uma usina termelétrica, foi estabelecida a prevalência das origens naturais vegetativos para ambos os ácidos carboxílicos e os aldeídos face das emissões antropogênicas. A presença de ácidos orgânicos na água de chuva coletada em locais rurais, urbanos ou recentemente urbanizados também tem sido estudada por Sakugawa et al. (1993), Sanhueza et al. (1996), Avery Jr. et al. (2001) e por Kieber et al. (2002).

As deposições atmosféricas de metais pesados estão entre as cargas poluidoras mais importantes das superfícies urbanas. Cizmecioglu e Muezzinoglu (2008) estudaram a solubilidade dos metais pesados transportados pelo ar e expressaram uma maior preocupação nas propriedades ecotóxicas dos metais pesados nas deposições úmidas muito mais do que nas deposições secas, devido às elevadas frações solúveis dos metais pesados nestas últimas. Os metais vestigiais estão enlaçados às partículas assentadas sobre as superfícies urbanas devido à deposição seca (processo de acumulação ou *build-up* durante os períodos sem chuva). A liberação destes metais contidos nas partículas para o escoamento pluvial acontece em poucos minutos. A solubilidade de metais vestigiais cuja presença não é dominante na Crosta Terrestre, como o Pb, pode variar com o pH da água de chuva e inclusive durante o decorrer de um evento de chuva individual (CHESTER et al., 1997). Metais como Cd, V, Cu e Zn mostram uma maior solubilidade média que Ni, Cr, e Pb, em ambas as deposições úmidas e secas

(MORSELLI et al. 2003). Segundo Gunawardena et al. (2013) Zn está associado com frações particulares de relativo maior tamanho ($>10\ \mu\text{m}$) e tende a aparecer na forma de deposição seca, enquanto Pb, Cd, Ni e Cu estão associados com frações particulares de relativo menor tamanho ($<10\ \mu\text{m}$) e são mais propensos à deposição úmida. A transferência de mercúrio desde o ar ambiente para a chuva em uma área urbana industrial foi estudada por Ghadaksaz zadeh et al. (2014). Os valores da concentração de mercúrio na água de chuva fornecidos em este trabalho, para diferentes áreas urbanas do mundo, variam de $0.007\ \mu\text{g/L}$ a $0.77\ \mu\text{g/L}$.

A presença de outros compostos tóxicos na chuva, retirados da atmosfera, também tem sido reportada em outras pesquisas específicas. Compostos perfluorados, dioxinas, compostos carbonílicos e ácido trifluoroacético estão entre estes compostos. Aparte deles, a retirada da atmosfera de pesticidas clorados, ftalatos (plastificantes) e outros contaminantes emergentes que podem aparecer na chuva em áreas urbanas ainda precisa de maiores pesquisas.

Os ácidos carboxílicos perfluorados (fluorotelômeros) são usados como refrigerantes, agroquímicos, reagentes e catalisadores químicos, e surfactantes. Uma tentativa de avaliar sua presença na água de chuva em uma área urbana foi realizada por Loewen et al. (2005). Este estudo não detectou este composto particular, embora teve sucesso em detectar concentrações significativas de compostos orgânicos fluorados. Zushi e Masunaga (2009) abordaram a poluição ambiental por compostos perfluorados (PFCs) pelo transporte através das águas pluviais para um rio no Japão. Kwok et al. (2010) analisou a presença de PFCs na deposição úmida em países diferentes, confirmando o papel da precipitação como um agente recoletor de PFCs em suspensão na atmosfera.

A presença de dibenzodioxinas policloradas (PCDDs) – ou simplesmente dioxinas – e dibenzofuranos (Fs) retirados da atmosfera é uma preocupação capital em áreas como o Mar Báltico, onde McLachlan e Sellström (2009) estudaram as variáveis ambientais que influenciam a deposição atmosférica através da chuva (deposição úmida) sendo esta o vetor dominante no transporte deste poluente. Balla et al. (2014) pesquisou a ocorrência de compostos carbonílicos na água de chuva numa área urbana do Norte da Grécia. Este estudo achou que o formaldeído, acetaldeído, hexanal, glioxal, e metilglioxal eram os compostos dominantes variando de 21.8 a $592\ \mu\text{g/L}$. Wang et al. (2014) estudou a presença na chuva do ácido trifluoroacético (TFA), um composto persistente e hidrofílico que se pode eventualmente acumular na hidrosfera. A concentração deste contaminante numa região fortemente industrializada variou de 45.8 a $974\ \text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, o que mesmo não supondo uma ameaça imediata para a saúde humana deixou preocupados aos autores sobre os efeitos de uma acumulação desta substância no ambiente aquático ao longo de vários anos.

Os trabalhos anteriormente citados focam na presença de um grupo específico de contaminantes na água de chuva, ou então em seus processos de retirada, transporte e deposição. Além destas pesquisas científicas, tem outras que abordam características locais da chuva, monitorando sua composição iônica e microbiológica por vários meses. Os seguintes trabalhos apresentam análises de água de chuva em áreas urbanas e rurais junto da costa, onde ambas as deposições úmidas e ocultas são significativas, assim como em regiões distantes do mar.

O aerossol marinho (maresia ou ressalga) contém sais inorgânicos e matéria orgânica do oceano. Está constituído principalmente por cloreto de sódio (NaCl) junto com outros íons que são comuns na água do mar: K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} e SO_4^{2-} .

A água de chuva costeira está influenciada fortemente pelo mar e por isso os principais íons derivados do aerossol marinho podem fazer uma contribuição significativa ao conteúdo total de íons e metais vestigiais da chuva costeira (ARIMOTO et al., 1987; HALSTEAD et al., 2000). Valores típicos para a razão iônica Na^+/Cl^- estão levemente abaixo da correspondente à da água do mar, que é de 1.17 (CHATTERJEE e SINGH, 2012). Por exemplo, Ozeki et al. (1995) e Moreda-Piñeiro et al. (2014) acharam, para a chuva costeira, uma relação entre os íons Na^+/Cl^- de 0.77 e 0.96, respectivamente.

A qualidade da água de chuva em ambientes marinhos foi estudada por Dillaha III e Zolan (1985), cujo estudo monitorou bactérias totais e coliformes fecais em 203 sistemas coletores de 10 ilhas na Micronésia.

Sazakli et al. (2007) monitoraram a qualidade da água de chuva numa ilha da Grécia durante três anos, concluindo que os parâmetros microbiológicos foram afetados pelo estado de limpeza das superfícies coletoras, enquanto os parâmetros químicos foram afetados pela proximidade do mar e pela atividade humana. Os parâmetros monitorados neste estudo foram metais, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), pesticidas organoclorados e compostos voláteis orgânicos, junto com a qualidade microbiológica (coliformes totais, *Escherichia coli* e *Enterococci*).

Em contraste com os estudos anteriores que abordam a chuva em ambientes costeiros, as características químicas da chuva e as deposições úmidas em regiões continentais, distantes do mar foram analisadas por Hontoria et al. (2003) em Madri, Ruschetta et al. (2006) na Itália Alpina, Yang et al. (2012) em Beijing e Robakidze et al. (2013) nos Urais (Rússia).

3. Contaminação da água de chuva devido à lavagem de partículas depositadas sobre a superfície de captação

Considerando o arraste de contaminantes pela lavagem atmosférica como um fenômeno inevitável, a água de chuva de melhor qualidade disponível em áreas urbanas é aquela que é coletada depois da primeira interceptação no telhado, que minimiza desta forma o efeito do arraste pelo escoamento e o contato com as partículas depositadas. Depois da interceptação inicial da água de chuva, o processo de poluição da água de chuva continua a medida que as partículas depositadas nas superfícies urbanas são levadas pelo escoamento pluvial, junto com outros poluentes que podem ser encontrados em áreas urbanas (óleo, matéria orgânica) e pode reduzir drasticamente a qualidade inicial da água de chuva captada.

Egodawatta et al. (2009) estudaram o processo de acumulação e lavagem dos poluentes nas superfícies dos telhados, observando que uma concentração relativamente elevada de matéria particulada era identificada durante a parte inicial dos eventos de chuva. Outro resultado interessante é que a quantidade de matéria particulada remanescente nas superfícies dos telhados era notoriamente elevada para eventos de chuva menos intensos. As partículas dos intervalos mais finos depositadas na superfície dos telhados são aderidas mediante enlaces químicos ou eletrostáticos e unicamente são lavadas durante eventos de chuva relativamente intensos. Estes autores também chegaram a uma interessante conclusão sobre a influência da duração do período seco entre eventos de chuva na deposição de partículas: 80% do processo total de acumulação nas superfícies dos telhados acontece durante os primeiros 7 dias sem chuva.

Micro-organismos transmitidos pelo ar e as bactérias aerossolizadas podem ser transferidos para a água de chuva captada por meio da sedimentação atmosférica de partículas grosseiras (deposição seca) com a subsequente lavagem da superfície de captação e por meio da chuva (deposição úmida). Vários micro-organismos podem ser comumente nas superfícies de captação, bem nas camadas de deposição ou associadas à decomposição de matéria orgânica. A presença de flora fúngica na água de chuva foi estudada por Nishihara et al. (1989) quem detectou 29 gêneros de fungos, enquanto Czezug e Orłowska (1997) identificaram 33 espécies de fungos hifomicetos na água de chuva escoada através de 6 tipos distintos de telhado. A lavagem da superfície de captação é a principal fonte de contaminação microbiológica da água de chuva captada nos telhados. Embora, a água de chuva recém precipitada que cai sobre os telhados já apresenta patógenos microbianos,

inclusive antes da sua interceptação no telhado e desta forma supõe uma entrada de carga bacteriológica.

Lye (2002) afirmou que a medição de coliformes fecais pode revelar-se como um indicador inapropriado para determinar os riscos microbiológicos associados com o consumo da água de chuva captada. Ahmed et al. (2010) também debateu a conveniência de analisar indicadores bacteriológicos de poluição fecal (*E. coli*, Enterococci, e *Clostridium perfringens*) para predizer a presença ou ausência de patógenos na água de chuva, concluindo que não foi achada nenhuma correlação significativa entre a concentração de indicadores bacteriológicos de poluição fecal e os micro-organismos patógenos. (KAUSHIK et al. 2014) abordou a qualidade microbiológica da água de chuva usando como indicadores microbianos: *Escherichia coli* (*E. coli*), coliformes totais, e Enterococci em conjunto com as bactérias heterotróficas da contagem de placa (HPC). Este estudo obteve níveis de *E. coli* na água de chuva compreendidos num intervalo de 0 CFU/100 mL a 75 CFU/100 mL para uma área altamente urbanizada com clima tropical (Cingapura), concluindo que apesar da presença de micróbios patógenos, a captação de água de chuva em áreas extensas de é uma fonte promissória de água se acompanhada de tratamento.

Os patógenos transmitidos pela água podem estar presentes em telhados urbanos devidos à atividade biológica associada com deposições de sujeira arrastada pelo vento, excrementos de pássaros e outros animais, insetos, líquens e musgos, fungos e matéria vegetal caída desde as árvores próximas (folhas, sementes, flores), inclusive nas superfícies de captação metálicas mais limpas.

Man-Van der Vliet (2014) resumiu os valores de concentração de uma série de patógenos transmitidos pela água (patógenos bacterianos, protozoários e virais) em fezes, esgoto, águas superficiais, águas pluviais e água de chuva escoada dos telhados, a partir das diretrizes para a qualidade da água potável da OMS- Organização Mundial da Saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011). Os resultados mostrados na Tabela 13 apontam para uma perda significativa na qualidade da água de chuva que, após ser ter sido interceptada nos telhados e ter lavado os mesmos (água escoada), atinge as superfícies urbanas e é conduzida através do sistema urbano de drenagem (água pluvial). Desta forma, as águas pluviais apresentam tipicamente valores de patógenos transmitidos pela água que são uma ordem de magnitude (dez vezes) maiores que a água que escoada desde o telhado. Ainda, como no caso de Norovirus e Enterovirus, as águas pluviais podem apresentar novos tipos de patógenos ausentes na água escoada dos telhados.

Tabela 13. Concentração de analisar indicadores bacteriológicos e patógenos em fezes, esgoto, águas superficiais, águas pluviais e águas escoadas dos telhados (MAN-VAN DER VLIET, 2014)

	Fezes	Esgoto	Águas superficiais	Águas pluviais	Água escoada dos telhados
	(N/g)	(N/L)	(N/L)	(N/L)	(N/L)
Indicadores bacteriológicos: <i>E. Coli</i> e <i>Enterococci</i> intestinal	$10^7 - 10^{10}$	$10^6 - 10^{10}$	$10^0 - 10^5$	$10^0 - 10^5$	$10^0 - 10^4$
<i>Campylobacter</i>	10^8	$10^2 - 10^8$	$10^2 - 10^4$	$10^{-1} - 10^2$	$0 - 10^2$
<i>Cryptosporidium</i>	$10^6 - 10^7$	$10^0 - 10^4$	$10^{-1} - 10^2$	$10^{-1} - 10^0$	$0 - 10^0$
<i>Giardia</i>	$10^6 - 10^7$	$10^0 - 10^4$	$10^{-1} - 10^3$	$10^{-1} - 10^1$	$10^{-1} - 10^0$
<i>Norovirus</i>	$10^5 - 10^9$	$10^0 - 10^4$	$10^1 - 10^3$	$0 - 10^3$	-
<i>Enterovirus</i>	10^0	$10^0 - 10^4$	$10^{-2} - 10^1$	$0^0 - 10^4$	-
<i>Legionella</i>	-	$0 - 10^5$	n.d.	$0^0 - 10^4$	$0^0 - 10^4$

n.d. = não disponível

- = assume-se ausente

Evans et al. (2006) tratou a contaminação das superfícies coletoras nos telhados pelos micro-organismos ambientais transmitidos pelo ar e citou as condições meteorológicas, especialmente a velocidade e a direção do vento, como as principais influências na composição microbiana da água de chuva captada nos telhados.

Simmons et al. (2001) analisou amostras de água de chuva coletada nos telhados em Auckland (NZ) monitorando a presença de coliformes totais, coliformes fecais, Enterococci, patógenos bacterianos incluindo Salmonella spp., Legionella spp., Campylobacter spp., Aeromonas spp. assim como os protozoários Cryptosporidium and Giardia. Houve uma significativa variação estatística nas

qualidades físico-química e microbiológica das amostras, a depender do local de amostragem. Embora, 56% destas excederam 51 FC/100 mL que é o valor local máximo aceitável para coliformes fecais. Adicionalmente, este estudo também detectou a presença de chumbo na água escoada dos telhados em 14% das amostras. Os autores concluem que os elevados níveis de prevalência de chumbo se devem provavelmente ao resultado da corrosão do ferro galvanizado, material de chumbo e pintura à base de chumbo na superfície de captação, em vez da deposição atmosférica.

Simmons et al. (2008) afirmou que os sistemas de captação e aproveitamento da água de chuva colhida nos telhados em um clima temperado podem abrigar *Legionella*, e por isso estudou a propagação de aerossóis contendo este patógeno nos telhados circundantes ao redor de uma fonte de surto, na mesma localidade que em seu estudo previamente citado. Considerando climas mais cálidos, Schlech et al. (1985) e Broadhead et al. (1998) tinham abordado com anterioridade a ocorrência de espécies de *Legionella* em cisternas de água de chuva tropicais.

Junto com *Legionella*, outro gênero de bactérias que pode ameaçar a qualidade da água de chuva captada é *Salmonella*. Embora ambos os gêneros de bactérias levam estilos de vida predominantemente associados a hospedes, eles podem persistir nas fontes de água, as quais agem como reservatórios bacteriológicos facilitando a transmissão entre os hospedes. Koplan et al. (1978) reportaram um estudo de caso de contaminação de água de chuva captada nos telhados por trás de um surto de salmonellose no Caribe. Neste caso, a superfície do telhado usada como captação estava coberta com fezes de pássaros que foram lavadas pelo escoamento, contaminando desta forma a água de chuva coletada que foi destinada para usos potáveis sem nenhum tratamento. Ashbolt e Kirk (2006) assim como Franklin et al. (2009) reportaram casos similares na Austrália, associados à falta de cloração nos tanques de água de chuva.

Ahmed et al. (2012) sugeriu que as fontes mais prováveis de *E. coli* nos tanques de água de chuva da Austrália são fezes de pássaros e de marsupiais.

Outro gênero de bactérias que causa doenças gastrointestinais é o das campilobactérias que pode ser transmitido pela água ou pela comida no caso de que a água da chuva não tratada seja usada para beber ou para manipular alimentos. A contaminação fecal dos tanques de água de chuva foi a razão por trás de um surto de *Campylobacter enteritis* num resort de uma ilha (Merritt et al., 1999). Os pássaros selvagens e as aves domésticas são os principais portadores de campilobactérias e desta forma a presença de ninhos de pássaros nas superfícies de captação de sistemas de aproveitamento de chuva na Nova Zelândia foi a principal hipótese considerada como causa de uma campilobacteriose

(Eberhart-Philips et al. 1997). Por outro lado, tem sido realizados estudos considerando um milhar de crianças moradoras de áreas rurais, concluindo que não foi observado incremento nos casos de gastroenterite entre as crianças que beberam água de chuva em comparação com aqueles que beberam água tratada da rede pública (Heyworth et al., 2005; 2006). Nos casos onde a população mora em condições de saneamento deficientes, com ausência ou intermitência no fornecimento de água, a água de chuva pode apresentar uma fonte de água de menor risco que a água não tratada dos poços e manancias locais. Um exemplo desto encontra-se em estudos relativos à Tailândia onde a contaminação das águas superficiais era superior à da água de chuva captada (Wirojanagud et al., 1989; Pinfold et al., 1993). Este é o caso também da região semi-árida do Brasil, onde o uso de cisternas de água para fins potáveis tem sido associado com um decréscimo na ocorrência de diarreia (Marcynuk et al., 2013) e de *Giardia duodenalis* (Fonseca et al., 2014) entre as comunidades rurais dispersas. Embora, mesmo que em termos gerais tem sido referido que as doenças gastrointestinais nessas comunidades tendem a decrescer com o uso da água de chuva, em aqueles casos nos quais a reservação da água de chuva estava falta de higiene ambos os coliformes e os parasitas foram detectados (Xavier et al., 2011). Preocupações similares foram manifestadas por Plazinska (2001) quando estudou a qualidade da água de chuva aproveitada por comunidades aborígenes na Austrália. Esta água de chuva, embora de superior qualidade química que as águas subterrâneas locais e sendo desse modo um valioso recurso complementar, podia apresentar uma severa contaminação microbiológica e representar riscos para a saúde. Além disso, o risco de doenças gastrointestinais associadas com a consumo de água de chuva foi objeto de uma revisão bibliográfica por Dean e Hunter (2012) enquanto Lim e Jiang (2013) analisaram o risco microbiano potencial associado com a consumo de produtos hortícolas irrigados com água de chuva captada nos telhados, em termos de transferência de patógenos (risco de Giardíase e Salmonelose).

Pseudomonas aeruginosa é uma bactéria que prospera em ambas as atmósferas normais e hipóxicas (de baixo oxigênio) e pode causar doenças em humanos e em outros animais. É encontrada no solo, na água, na flora da pele, e em ambientes urbanos ao redor do mundo. Sua presença na água de chuva pode ser associada à matéria orgânica arrastada do telhado assim como às colônias que proliferam nas superfícies dos tanques de reserva. Nawaz et al. (2014) estudou a presença desta bactéria na água de chuva captada, considerando diferentes tipos de captação e condições de reservação, assim como as diferentes estações (períodos de chuva e seco).

Além do risco biológico, que pode ser minimizado pela limpeza e manutenção periódica, os telhados e demais superfícies de captação urbanas também podem ser uma fonte de contaminantes

inorgânicos para a água de chuva.

A poluição de água de chuva com metais como zinco, cobre e em algumas ocasiões chumbo está associada frequentemente com a corrosão do material do telhado. Devido a que a água de chuva é levemente ácida e tem uma baixa quantidade de minerais dissolvidos, pode dissolver metais e outras impurezas dos materiais que compõem a superfície de captação e o tanque de reservação, causando decoloração junto com mau gosto e mau odor na água de chuva captada.

Huston et al. (2009) caracterizaram a entrada de contaminantes químicos a partir da atmosfera nos tanques de água de chuva e concluíram que a deposição atmosférica não é o principal contribuinte das elevadas concentrações de chumbo na água de chuva urbana numa cidade que tenha uma razoável qualidade do ar. Outras fontes contaminantes como pinturas à base de água ou materiais de calhas e telhados devem ter também um papel importante em relação a esta substancia. Num trabalho posterior, Huston et al. (2012) identificou as fontes de contaminação de chumbo na água de chuva: encanamentos, material de construção (galvanização, acabamento do telhado, aço) e acima de tudo pintura à base de chumbo que em alguns casos foi responsável pelo 79% do chumbo nas amostras dos tanques de água. A Organização Mundial da Saúde (World Health Organization, 2011) recomenda que, mesmo que os materiais sólidos que compõem os telhados são em sua maioria adequados para captar água de chuva, aqueles recobertos com pintura à base de chumbo, telhados com revestimento bituminoso assim como telhados de palha podem lixiviar substâncias ou causar problemas de gosto ruim, causar decoloração ou deposição de partículas na água colhida.

Thomas e Greene (1993) acharam que os diferentes tipos de telhados influenciam a qualidade da água de chuva sendo maiores as concentrações de zinco nas superfícies de captação de ferro galvanizado enquanto o pH, a condutividade e os níveis de turbidez são maiores nas superfícies de captação de laje de concreto. Seus resultados também revelam maiores valores de nitratos e pH na água de chuva colhida nos telhados de áreas rurais assim como presença de chumbo na água de chuva colhida em áreas industriais e, em menor medida, em áreas urbanas.

Yaziz et al. (1998) também analisaram a deposição de vários poluentes a partir da atmosfera nas superfícies dos telhados compostos de dois tipos de materiais: ferro galvanizado e laje de concreto. Além da avaliação dos poluentes orgânicos e inorgânicos no escoamento do telhado, este estudo também ilustra que ambas a intensidade da chuva e o número de dias secos que antecedem ao evento de chuva influenciam de uma maneira significativa a qualidade da água escoada nos sistemas de captação.

Mendez et al. (2011) estudaram o efeito de materiais tradicionais usados nos telhados (asfalto, telhas de fibra de vidro, e laje de concreto) assim com de materiais mais modernos (superfícies acrílicas coloreadas e telhados verdes não fertilizados) na qualidade da água de chuva captada. Os autores também mostram neste estudo que a água de chuva captada em telhados metálicos, lajes de concreto e telhados “frios” (telhados pintados de branco) tendem a apresentar menores concentrações de indicadores bacteriológicos de poluição fecal em comparação com outros materiais usados para telhados. Com respeito a telhados compostos por telhas e telhados verdes, as concentrações de carbono orgânico dissolvido na água de chuva eram dez vezes maiores que os valores típicos da água potável nos Estados Unidos, o que pode acarretar elevadas concentrações de subprodutos da desinfecção após a cloração. Além disso, este estudo achou concentrações de alguns metais (e.g. arsênico) na água de chuva coletada de telhados verdes.

Lee et al. (2012) também tratou este tema, estudando a influência dos seguintes materiais de telhado: telhas de placas de madeira, concreto, argila, e aço galvanizado (aço com recobrimento de liga de zinco). A melhor qualidade da água de chuva foi obtida com o telhado de aço galvanizado, onde o efeito combinado da luz ultravioleta e as altas temperaturas desinfetaram de maneira efetiva a água de chuva captada, cujos parâmetros de qualidade atenderam as diretrizes coreanas para a água potável.

Nestes estudos ambos os contaminantes orgânicos e inorgânicos (metais) foram medidos para cada tipo de material de telhado. As concentrações de nitrato (NO_3^-) na água de chuva foi também monitorada devido a que este parâmetro está associado com processos microbiológicos. A porosidade do material da superfície de captação pode influenciar os valores de concentração de nitrato já que um elevado grau de porosidade pode favorecer a presença de colônias de líquens, detritos animais e deposições úmidas/secas. O material mais poroso, telhas de madeira, apresentou as concentrações mais elevadas de nitrato na água escoada. Outra abordagem interessante realizada nestes estudos foi o monitoramento por separado dos parâmetros de qualidade em ambos o tanque de *first-flush* (onde o escoamento inicial do evento de chuva é desviado e reservado até seu descarte), e no tanque de água de chuva (que contém a água captada que será efetivamente consumida). A Tabela 14 compara os valores de concentração média de contaminantes orgânicos e inorgânicos na água escoada através de diferentes materiais de cobertura. Os valores para água de chuva captada são mostrados entre colchetes, ao lado dos valores para o *first-flush*, e apresentam valores perceptivelmente menores de contaminantes.

Tabela 14. Valores médios da qualidade e concentração de contaminantes na água de chuva coletada no telhado, considerando diferentes materiais da cobertura: valores para o *first-flush* e para [tanques de água de chuva]

	(Lee et al., 2012)				(Mendez et al., 2011)				(Yaziz et al., 1998)		
	Telhas de madeira	Placas de concreto	Placas de argila	Aço galvanizado	Telhas asfálticas e fibra de vidro	Aluminio galvanizado	Placa de concreto	Telhado branco	Telhado verde	Ferro galvanizado	Placa de concreto
pH	6.8 [6.5]	7.1 [7.3]	7.1 [7.0]	6.5 [6.1]	6.2 [6.3]	6.4 [6.1]	6.9 [6.8]	6.4 [6.3]	6.5 [6.4]	6.5 [6.4]	6.9 [6.8]
STD (mg/L)	214 [36]	309 [45]	219 [42]	286 [15]	45 [15]	105 [25]	70 [20]	95 [30] [8]	12 [8]	91 [52]	153 [95]
Nitrato (mg/L)	3.3 [0.3]	2.5 [0.3]	1.9 [2.8]	2.8 [0.02]	2.5 [0.4]	1.1 [0.4]	1.5 [0.5]	1.5 [0.5]	1 [0.6]	n.m	n.m
T.C (CFU/ 100mL)	131 [12]	197 [12]	76 [2]	70 [<1]	1050 [500]	300 [150]	700 [300]	1050 [500]	2.5 [2]	46 [25]	75 [41]
Al (µg/L)	227 [43]	535 [99]	243 [36]	622 [33]	950 [200]	650 [140]	650 [240]	1000 [240]	110 [100]	n.m	n.m
Fe (µg/L)	154 [23]	160 [48]	155 [24]	302 [27]	600 [150]	590 [145]	580 [155]	900 [158]	100 [50]	n.m	n.m
Cu (µg/L)	34 [10]	58 [20]	37 [12]	59 [22]	200 [12.5]	≤5 [≤5]	6 [3]	≤5 [≤5]	≤5 [≤5]	n.m	n.m
Pb (µg/L)	10 [3]	14 [5]	11 [3]	12 [3]	1.5 [0.4]	2.5 [0.5]	3.5 [1.1]	3 [0.5]	8.5 [2]	235 [145]	102 [169]
Zn (µg/L)	135 [18]	196 [38]	131 [19]	428 [74]	45 [10]	375 [100]	160 [60]	160 [40]	225 [160]	343 [294]	49 [96]

n.m. = não medidos

Os valores da Tabela 14 ilustram que o escoamento inicial lixiva a maior parte dos depósitos de contaminantes do telhado e subsequentemente corrobora a efetividade do descarte inicial (*first-flush*) na melhoria da qualidade da água de chuva. Embora, os valores obtidos por Yaziz et al. (1998) correspondentes ao escoamento através de placas de concreto apresentaram menores concentrações de chumbo e zinco no *first-flush*, o que pode estar associado com um insuficiente volume de *first-flush* e com uma elevada concentração de chumbo e zinco na chuva atmosférica (34 µg/L e 200 µg/L respectivamente) medida nesse estudo na forma de chuva colhida em terreno aberto.

A seguir, e no intuito de ampliar a comparação entre os diferentes tipos de telhados, a Tabela 15 fornece valores de poluentes achados no escoamento inicial de telhados construídos com outros tipos de materiais.

Tabela 15. Valores médios da qualidade e concentração de contaminantes na água de chuva coletada no telhado, considerando diferentes materiais da cobertura (amostras de *first-flush*)

	(Clark et al., 2009)						(Olaoye e Olaniyan, 2012)			
	Madeira tratada	Madeira a prova de água	Placas de cedro	Telhas de asfalto	Telhado galvanizado	Telhado verde	Asbesto-cimento	Telhado de alumínio	Cobertura plana de concreto	Telhado de plástico corrugado
pH	6.1	5.4	4.0	6.6	6.1	7.5	6.6	6.9	6.1	6.4
Nitrate (mg/L)	0.5	2.0	3.0	0.5	0.4	0.1	35.5	8.3	9.5	16.5
Cu (µg/L)	3000	2500	< 25	< 25	< 25	< 25	$4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
Zn (µg/L)	100	200	100	100	5700	≤ 0.1	$\leq 10^{-2}$	$\leq 10^{-2}$	$\leq 10^{-2}$	0.2

O uso de coberturas vegetais, ou telhados verdes, e sua influencia na qualidade do escoamento tem se tornado um tema de recente interesse devido ao surgimento desta tendência no urbanismo.

Segundo Berndtsson et al. (2009) os telhados verdes são um sumidouro de nitrogênio (na forma de azoto nítrico e amoniacal), carbono orgânico dissolvido e potássio e, mesmo não retendo os poluentes metálicos, não são via de regra uma fonte significativa destes. No caso de coberturas intensamente vegetadas, a água de chuva experimenta um incremento nos níveis de pH devido à passagem através deste tipo de cobertura, o que indica uma rápida neutralização das deposições ácidas que poderiam ter se assentado previamente na superfície.

Além de metais, outros poluentes inorgânicos que poderiam ter uma presença significativa nas coberturas são os pesticidas, especialmente em áreas suburbanas e rurais. Sua presença está geralmente associada com atividades agrícolas, embora alguns materiais e técnicas de construção das coberturas podem representar uma fonte destes contaminantes. Bucheli et al. (1998a, 1998b) estudou a presença de pesticidas na água de chuva captada em telhados. Três tipos diferentes de coberturas foram considerados: telhas de argila, coberturas de poliéster e telhados planos de cascalho (brita). Os resultados mostraram que as máximas concentrações de pesticidas originários principalmente a partir de usos agrícolas ocorreram durante e imediatamente depois dos períodos de aplicação dos mesmos. Embora, foi detectado que a lixiviação dos pesticidas aplicados nos telhados como produtos químicos para proteção da cobertura (herbicidas e anti-musgo) usados nas juntas de telhados planos de cascalho, pode supor uma fonte muito mais significativa de poluentes químicos presentes no escoamento das coberturas. Desta forma os herbicidas R-mecoprop e S-enantiomer foram detectados no escoamento numa concentração muito maior (até 500 µg/L) que na correspondente água de chuva não interceptada (amostras coletadas em terreno aberto).

Outros potenciais contaminantes da água de chuva são os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) os quais são originados, geralmente, pela combustão incompleta de combustíveis fósseis e de matéria orgânica (queimadas e incêndios florestais, queima de biomassa em caldeiras e incineradores). Os PAHs pertencem ao grupo de poluidores orgânicos persistentes (POPs) de conhecidas propriedades carcinogênicas (Sahu et al., 2004). Gunawardena et al. (2012) salientou o trânsito rodado como a principal fonte de PAHs atmosféricos e metais pesados, enquanto Yu (2012) destacou as partículas de PAH de tamanho variando entre 0.04 e 4 µm, o que as faz susceptíveis de estar presentes nas deposições secas e úmidas devido a sua volatilidade. A presença de PAHs na água de chuva tem sido estudada por Quaghebeur et al. (1983) quem assinalou o aquecimento doméstico como a principal fonte dos picos de concentração de PAH na chuva de algumas áreas da Bélgica durante o inverno.

Farreny et al. (2011) forneceu critérios para a seleção de telhados a fim de maximizar a

disponibilidade e qualidade da água de chuva, através de uma abordagem combinada que estuda o coeficiente de escoamento (quantidade de água de chuva captada) assim como parâmetros físico-químicos no escoamento (qualidade). Estes critérios se referem à pendente e rugosidade do telhado. Neste estudo, dois tipos de telhados são monitorados: um deles feito de placas de argila com camisa metálica e plástico policarbonatado e o outro sendo um telhado plano de cascalho, concluindo que a qualidade da água escoada era melhor nas superfícies inclinadas e suaves do que nos telhados de superfícies planas e rugosas. Egodawatta et al. (2009) também destacou a importância do tipo de superfície e da textura. Este estudo caracterizou a distribuição de tamanhos de partícula para coberturas de diferente rugosidade (telhados de aço corrugado e de laje de concreto) concluindo que o processo de acumulação (build-up) da matéria particulada é independente do material de revestimento de telhado e que junto com a intensidade da chuva, a energia cinética e a turbulência criada na superfície são as maiores variáveis no processo de lavagem das partículas e poluentes depositados nos telhados.

Outros exemplos de análises do escoamento da chuva a partir de várias superfícies de captação em diferentes localizações ao redor do mundo estão disponíveis na literatura científica: Quek e Forster (1993) focaram na presença de metais vestigiais em telhados da Alemanha, Gromaire-Mertz et al. (1999) estudaram a poluição do escoamento pluvial de diferentes superfícies urbanas em Paris, Uba e Aghogho (2000) estudaram os contaminantes físico-químicos e microbiológicos no escoamento proveniente de distintas coberturas na Nigéria, Vázquez et al. (2003) analisaram a composição iônica da chuva no Noroeste da Espanha, Chang et al. (2004) estudaram a poluição com metais no escoamento em diferentes tipos de telhados em Texas, Kim et al. (2005) abordaram a presença de contaminantes físico-químicos e microbiológicos no escoamento na Coreia do Sul, Prestes et al. (2006) focaram na composição de metais pesados no escoamento urbano no Sudeste do Brasil, Ahmed et al. (2011) ofereceram uma revisão bibliográfica da qualidade microbiológica da água de chuva captada em diferentes localizações e ao mesmo tempo focaram nos modelos de análise de riscos à saúde, enquanto Magyar et al. (2014) estudaram as concentrações de metais e lixiviação de chumbo no escoamento através de diferentes coberturas na Austrália.

4. Desvio do first flush e contaminação da água de chuva durante a fase de reservação.

Filtros de partículas grosseiras pré-tanque (peneiras) podem reter facilmente matéria orgânica e as partículas de sujeira de maior tamanho como folhas e musgo, e representa o primeiro estágio na melhora da qualidade do escoamento, estando situado diretamente nas calhas pluviais antes do dispositivo de *first-flush*.

O segundo estágio corresponde ao dispositivo de *first-flush*, responsável pelo descarte de um volume inicial adequado do escoamento do telhado. Graças a este descarte, a maior parte dos poluentes associados com a lavagem da superfície de captação (deposições secas e úmidas, e matéria orgânica) não acabarão entrando no tanque de água de chuva. As concentrações mais elevadas de matéria particulada estão presentes na fase inicial dos eventos de escoamento ou o first-flush (Quek e Forster, 1993; Bertrand-Krajewski et al., 1998; Lee et al., 2002; Spinks et al., 2003; Van Metre e Mahler, 2003).

O volume adequado de *first-flush* que precisa ser descartado varia com a intensidade do evento de chuva (que é difícil de prever com anterioridade, na hora de regular a válvula do dispositivo de *first-flush* e subsequentemente o volume do escoamento inicial a ser by-passeado). Por isso, ocorre uma lavagem incompleta durante a fase inicial de eventos de intensidade relativamente pequena: Egodawatta et al. (2009) obtiveram que somente em torno de 75% do total de partículas presentes na superfície de telhados foram removidas por um evento de chuva de 20 mm·h⁻¹ enquanto que quase 100% das partículas foram removidas durante um evento de chuva de 115 mm·h⁻¹.

Em segundo lugar, o volume de *first-flush* também depende dos dias secos que antecedem ao evento de chuva. Lee et al. (2004) sugeriram uma regulação sazonal do *first-flush*. Este estudo encontrou que, para o clima da Califórnia, a concentração de contaminantes na fase inicial da estação úmida resulta entre 1.2 e 20 vezes maior que na fase final da estação, devido a que durante a estação seca cria-se um largo período propício para a acumulação dos poluentes nas superfícies de captação. A otimização do volume de *first-flush* de acordo com estes dois parâmetros (intensidade da chuva e período seco prévio) é crítica para conseguir uma remoção efetiva dos poluentes da água de chuva que de outra forma entrariam no tanque de reservação. Junto com a intensidade máxima da chuva e o período seco antecedente, outros autores salientam a duração da chuva e a vazão máxima do escoamento (no caso de grandes áreas de captação) como os parâmetros mais importantes que influenciam a carga de sólidos em suspensão no *first-flush* (Gupta e Saul, 1996). Tipicamente, um

dispositivo de *first-flush* desvia os primeiros 0.8–3.5 mm de água de chuva. Martinson e Thomas (2005) recomendaram valores que variam de 1.0 mm a 8.5 mm de acordo com a turbidez média do escoamento em dias de chuva depois de pelo menos 3 dias sem chuva, e o nível de turbidez pretendido para a água de chuva no tanque. Kandasamy et al. (2010) obtiveram que bypassando os primeiros 2 mm de chuva outorga à água de chuva uma qualidade conforme na maioria dos parâmetros com as diretrizes da Australian Drinking Water Guidelines (ADWG), com as exceções de chumbo e turbidez, que requereram um *first-flush* de 5 mm para atender estas diretrizes. Em resumo, mediante o uso de um dispositivo de *first-flush* bem regulado, a qualidade da água de chuva captada pode ser melhorada substancialmente.

Após os filtros de partículas grosseiras e o descarte do *first-flush*, sistemas simples de filtração (Vieira et al., 2013) podem ser adicionados para melhorar ainda mais a qualidade da água de chuva que entra no tanque de água de chuva. Os componentes de um sistema de aproveitamento de água de chuva compreendidos entre a superfície de captação e o tanque (calhas pluviais, conexões, encanamentos) estão disponíveis numa ampla gama de materiais (alumínio, cobre, aço galvanizado, plástico de cloreto de polivinilo, polietileno). Em conjunto, estes componentes podem supor uma fonte adicional de contaminantes químicos, assim como uma fonte de carga bacteriológica se não forem higienizados apropriadamente. Morrow et al. (2010) reportou um aumento nos níveis de contaminação da água de chuva após a fase de reservação. Ao medir as concentrações de metais na água de chuva em ambas a água escoada pela cobertura (antes da reservação) e na água de chuva servida nas torneiras domésticas (após a reservação) concluíram que os materiais dos encanamentos e torneiras contribuem significativamente às cargas de contaminantes da água de chuva reservada.

Geralmente, é considerado que a reservação em tanques de água de chuva melhora a qualidade da água de chuva, devido principalmente ao processo de sedimentação das partículas transportadas pelo escoamento. Dadas umas condições adequadas de remanso no reservatório, estas partículas irão se assentando na forma de lodo no fundo do tanque, junto com todos os metais pesados e as bactérias grudadas a estas partículas. Um fenômeno secundário que pode melhorar a qualidade da água de chuva reservada é um leve incremento do pH e a remoção de nutrientes devido à atividade bacteriológica benéfica.

Melhorador da qualidade 1: Potencial incremento do pH dentro do tanque de reserva.

A água de chuva é levemente ácida, com um pH ao redor de um valor natural típico de 5.6 (Charlson e Rodhe, 1982). Bunyaratapan e Sinsupan, (1984) relataram um aumento no pH da água de chuva desde 5.7 no telhado para 6.3-7.3 quando armazenada em tanques de jarra de argamassa, para 6.7 num tanque de concreto reforçado, para 9.5-10.2 em tanques de tijolo, e para 8.7-9.8 em cisternas de ferrocimento. Num estudo avaliando a qualidade da água de chuva reservada numa cisterna de concreto, Scott e Waller (1987) reportaram um aumento de pH desde 5.0 na superfície do telhado, para 9.4 no tanque e para 10.3 na torneira. Este estudo também sugeriu que um valor de pH mais elevado poderia inibir o crescimento de coliformes. Handia (2005) descreveu um aumento no pH da água de chuva reservada em tanques de ferrocimento embora concluiu que o pH desceria para valores normais de água de chuva com o envelhecimento dos tanques. Segundo Despins et al. (2009), o contato com um tanque de concreto pode produzir um aumento de pH o que é benéfico para a proteção do sistema de distribuição e para a qualidade química da água uma vez que minimiza o potencial para lixiviar metais. Achadu e Dalla (2013) encontraram um pH menor em tanques metálicos, em torno de 5.5 e atribuíram o elevado pH da água de chuva reservada nos tanques de concreto à ação neutralizadora dos componentes alcalinos do concreto.

Reações compreendendo os íons presentes na água de chuva que possam alterar de uma maneira pronunciada o pH são raras. Em situações urbanas ambos os íons manganês (Mn^{2+}) e dióxido de enxofre (SO_2) nas nuvens de chuva e na névoa podem reagir (oxidação catalítica do SO_2 pelo oxigênio) e produzir sulfato, afetando desta forma o pH da água de chuva reservada. Segundo Penkett et al. (1979b), a taxa de oxidação do SO_2 na água de chuva reservada é diretamente proporcional ao conteúdo de manganês do escoamento pluvial, sem influência de nenhum outro íon metálico que possa estar presente na água de chuva.

Melhorador da qualidade 2: Sedimentação de partículas e atividade bacteriológica dentro do tanque de reserva.

O processo relativo à qualidade da água mais importante que acontece durante a reservação é a redução dos sólidos suspensos por sedimentação, tendo sido observadas reduções no valor deste parâmetro entre 70% e 90% durante as primeiras seis horas (Duncan, 1995). Hidrocarbonetos, metais pesados e o fósforo estão associados às partículas e sua presença pode ser reduzida efetivamente por meio da reservação. Para metais pesados como o chumbo, Spinks et al. (2005) relatou que em alguns

tanques de água de chuva a concentração era 340,000 vezes maior nos sedimentos do que na água. A re-suspensão da camada de sedimentos pode ocorrer devido a níveis baixos de água na cisterna, mistura térmica ou devido à entrada turbulenta da água durante um evento de chuva (Scott and Waller, 1987). Spinks et al. (2005) consideraram que a re-suspensão dos lodos era mínima, e facilmente mitigável com um sistema adequadamente projetado, por exemplo um dispositivo que proveja de uma entrada calma para a água de chuva no tanque de reserva, impedindo desta forma a perturbação da camada de sedimentos.

A sedimentação também desempenha um papel primário na redução da carga bacteriológica da água de chuva reservada. Estudos que tratam da remoção de coliformes fecais por meio da sedimentação de partículas tem revelado uma queda na concentração de coliformes fecais que varia entre 90% (Whipple e Hunter, 1981) e 50% (Whiteley et al., 1993). Spinks et al. (2005) observaram que a concentração de HPC (contagem de bactérias heterotróficas) aeróbicas era 50–100 vezes maior nos sedimentos do que na coluna de água acima deles. Não obstante, devido à capacidade das bactérias de multiplicar-se e regenerar-se, a sedimentação das partículas deve ir acompanhada de remoção periódica do lodo assim como da cloração a fim de alcançar boas taxas de remoção da carga bacteriológica no tanque de água de chuva.

Além da sedimentação, as populações remanescentes de bactérias também possuem um papel a desempenhar na melhora da qualidade da água de chuva por meio da remoção de nutrientes, da bioremediação e da exclusão competitiva. A presença de espécies de bactérias não fecais e não patogênicas foi estudada por Evans et al. (2009) sugerindo que os tanques de água de chuva poderiam abrigar comunidades complexas de bactérias ambientais, as quais poderiam ter implicações benéficas para a qualidade da água de chuva reservada. Segundo esta linha de raciocínio, a potencial capacidade de bioremediação destas populações residentes de bactérias tornaria mais valiosa sua retenção dentro do tanque, do que sua eliminação por meio da cloração. Em vez da desinfecção química no tanque, a atividade bacteriológica melhora a qualidade da água de chuva reservada e finalmente, medidas no ponto de uso final (desinfecção UV, aquecimento da água, ozônio) garantem a eliminação de patógenos transmitidos pela água.

A pesar dos efeitos benéficos dos fenômenos acima relatados, a qualidade da água de chuva pode ser deteriorada durante o estágio de reservação. As duas ameaças principais durante a reservação são:

Ameaçador da qualidade 1: Potencial lixiviação de compostos químicos e orgânicos do material do tanque de reserva.

Alguns estudos têm mostrado diferenças significativas nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de chuva dependendo do material do tanque de reserva. Mesmo assim, com uma boa manutenção e boa seleção da pintura de impermeabilização do tanque, a lixiviação de compostos químicos e orgânicos não deveria ter um efeito considerável na qualidade da água de chuva reservada.

Hart e White (2006) revelaram que a lixiviação de zinco pode ser considerável em tanques metálicos, porém tanques de concreto ou plástico não tiveram impacto notável nas concentrações de zinco, chumbo ou cobre. A lixiviação de compostos orgânicos é uma preocupação no caso de tanques de plástico devido a que em suas superfícies internas podem formar-se camadas de biofilme.

Varghese e Daya (2008) monitoraram a qualidade de água de chuva reservada em tanques de ferrocimento em Kerala (Índia) durante 4 meses e obtiveram que a qualidade desta água de chuva era adequada para usos potáveis nos termos de parâmetros físicos e químicos, afora contaminação microbiológica. Achadu e Dalla (2013) analisaram água de chuva captada e reservada em tanques de diferentes materiais: concreto, plástico e metal, obtendo diferenças estatísticas significativas nas concentrações de metais (maiores na água de chuva reservada nos tanques metálicos) e nas de sólidos dissolvidos totais, sulfatos e nitratos (maiores nos tanques de concreto). Os contaminantes microbiológicos também foram encontrados em maiores concentrações na água dos tanques de plástico.

Ameaçador da qualidade 2: Falta de manutenção, limpeza periódica e desinfecção.

Falta de manutenção, um design pobre assim como regimes de desinfecção inadequados estão correlacionados com um conteúdo maior de bactérias (Abbott et al., 2007a, 2007b) e são a principal ameaça à qualidade da água de chuva durante o estágio de reservação. Condições de reserva cobertas e em ambientes escuros que garantam temperaturas baixas resultam numa melhor qualidade microbiológica da água de chuva que a reservação em condições abertas e expostas à luz. Embora elevados níveis de exposição à radiação UV na presença de oxigênio tem uma ação desinfetante (Reed, 1997), uma exposição incompleta à luz solar pode promover o crescimento de algas e desta forma ter um efeito prejudicial. As tampas preveem a água reservada da exposição solar e evitam que contaminantes fecais, pequenos animais e insetos acessem o tanque de reserva. Estas devem estar

fixadas, e equipadas com tela mosquiteira especialmente em climas tropicais onde a proliferação do mosquito *A. aegypti*, transmissor do vírus da dengue, deve ser levada em conta. Mariappan et al. (2008) relataram que infra-estruturas defeituosas de captação e aproveitamento de água de chuva, em particular poços de percolação abertos ou cobertos, eram um vetor principal de transmissão da dengue no Sul da Índia ao propagar o *A. aegypti*.

Em áreas tropicais, a água de cisterna quando usada para usos potáveis ou de banho pode ser uma fonte de infecção por *Legionella* (Broadhead et al., 1998) ou conter *Cryptosporidium* e *Giardia* (Crabtree et al., 1996).

A presença potencial destes patógenos, junto com o mencionado problema da propagação da dengue, recomenda uma desinfecção periódica do reservatório de água. Franklin et al. (2009) relatou que um surto de *Salmonella* num acampamento escolar estava associado à contaminação de tanques de água de chuva já que a administração deste não tinha clorado os tanques com frequência regular nem retirado o lodo de seu fundo. A contaminação por bactérias e parasitas é de ocorrência comum na água de chuva usada pelas comunidades rurais na região semiárida do Brasil: Xavier et al. (2011) demonstraram que aproximadamente 90% das amostras de água de chuva reservada nesta região estavam contaminadas com coliformes e 34.8% apresentou a presença de pelo menos uma espécie de parasitas. Este estudo concluiu que este número tão elevado de contaminantes poderia estar justificado por uma falta de educação na população sobre a importância de conservar sua água em recipientes limpos e evitar contaminá-los com fezes humanas ou animais e desta forma programas educacionais de saúde deveriam ser desenvolvidos como uma parte importante dos programas de aproveitamento da água de chuva na região. Appan (1997) também enfatizou a necessidade de educação sanitária sobre os vários aspectos da utilização de sistemas coletores da água dos telhados, quando analisou as práticas mais comuns e os níveis de qualidade da água em sistemas de aproveitamento da água de chuva em países do Sudeste de Ásia.

Experiências desde diferentes partes do mundo concluem que além da necessidade de tratar a água de chuva antes de ser usada para fins potáveis, os sistemas de captação, reserva e distribuição de água de chuva podem ser uma fonte de contaminação bacteriológica e por tanto uma manutenção e limpeza adequadas de seus componentes é crucial para evitar a presença de patógenos.

Junto com a cloração no tanque de reserva, deve ser praticada uma limpeza regular das superfícies de captação e das calhas pluviais para minimizar a acumulação de entulho e detritos. A observância destas boas práticas é um fator chave para evitar um descenso na qualidade da água de

chuva durante o estágio de reservação devido à contaminação microbiológica. A este respeito, é notável o estudo de Wirojanagud et al. (1989) examinando ao mesmo tempo análises físico-químicos e bacteriológicos de água de chuva reservada assim como as práticas de limpeza e manutenção de tanques de água de chuva na Tailândia. Uma continuação deste estudo por Pinfold et al. (1993) mostrou como medidas simples como o uso de tampas e telas anti-mosquito podem melhorar significativamente a qualidade da água reservada. Também é destacável o trabalho de Lye (1992, 1998) que estudou o estado dos sistemas de aproveitamento de água de chuva nos EUA, analisando a presença de poluentes microbiológicos e recomendando as melhores práticas para minimizar os riscos à saúde associados com a presença de patógenos e desta forma maximizar a qualidade da água captada. Amin et al. (2013) após estudar o efeito das superfícies de captação, do *first-flush* e das condições de reservação concluíram que a qualidade microbiológica da água de chuva captada pode ser melhorada significativamente mediante a adoção de um design (projeto) adequado e diretrizes de manutenção.

Há um grande número de trabalhos contendo análises da qualidade final da água servida por um sistema de captação e reserva de água de chuva. Fewtrella e Kay (2007) ofereceram uma revisão da qualidade microbiana de água de chuva servida por este tipo de sistemas em países desenvolvidos, enquanto Despins et al. (2009) analisaram a qualidade da água de chuva captada em locais com diferentes ambientes, materiais de captação, materiais de reservação e diferentes tratamentos em Ontario-Canada.

Além destes, outros estudos analisando a qualidade da água de chuva servida, após os estágios de captação e reserva, estão disponíveis para diferentes partes do mundo: Lye (1987) em Kentucky-EUA, Fujioka et al. (1991) no Havaí, Coombes et al. (2000) em NSW-Austrália, Handia (2005) na Zâmbia, Hernandez e Vieira (2005) no Sudeste do Brasil, Peters et al. (2008) nas Bermudas, Ahmed et al. (2009) em SEQ-Austrália, Daoud et al. (2011) na Palestina, Gikas e Tsihrintzis (2012) no Nordeste da Grécia, Shuster et al. (2013) em Ohio-EUA, Van der Sterren et al. (2013) em Sydney, e Dobrowsky et al. (2014a, 2014b) em WC-Africa do Sul. Finalmente, um resumo de várias análises sobre qualidade química e biológica de água de chuva reservada em tanques pode ser consultado em Kwaadsteniet et al. (2013).

A seguir, a Tabela 16 mostra os valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos obtidos em diferentes localizações do mundo (nos quatro casos trata-se de áreas urbanas).

Tabela 16. Qualidade da água servida por diferentes sistemas de aproveitamento de água de chuva em locais urbanos

	Despins et al. (2009)		Lee et al. (2010)		Vialle et al. (2011)		Dobrowksy et al. (2014a, 2014b)	
	Ontário, Canada		Coreia do Sul		França		Africa do Sul	
	Mediana	Intervalo	Mediana	Intervalo	Mediana	Intervalo	Mediana	Intervalo
pH	7.5	7.0-8.1	7.3	6.7-7.8	6.2	5.6-10.4	5.3	4.5-6.5
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	n.m	n.m	30	6-82	38.2	13.5-235.0	n.m	n.m
Nitrato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	n.m	n.m	6.8	2.9-9.8	2.4	0.54-7.8	1.5	1.0-2.3
NH_4^+ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	n.m	n.m	0.09	0.06-0.39	0.32	<0.1-1.7	n.m	n.m
Fosfato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	n.m	n.m	0.02	0-0.04	0.19	<0.1-0.54	n.d	n.d
Cloreto ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	n.m	n.m	7.5	5-18	1.7	0.55-4.0	21.2	16.7-29.9
Calcio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	<12.2	0.8-12.2	6.4	3.2-15.4	2.9	1.0-19.0	11.6	10.5-14.2
Magnésio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	baixo	baixo	1.2	0.5-2.7	0.24	<0.1-0.7	1.6	1.3-2.1
Sódio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	baixo	baixo	3.2	2.2-6.1	0.93	0.3-2.9	15.4	11.8-22.3
Potássio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	n.m	n.m	3.1	1.3-5.9	0.78	0.15-4.9	2.7	1.7-6.3
Sulfatos ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	n.m	n.m	4.1	2-7.2	1.8	0.50-6.6	7.9	3.7-19.5
Mn ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	<50	0-50	115	70-170	n.m	n.m	0.4	0.1-1.8
Pb ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	<10	0-10	27	10-40	n.m	n.m	0.2	0.1-0.4
Cu ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	<10 ³	0-10 ³	85	70-120	n.m	n.m	1.9	0.7-3.7
Cr ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	n.m	n.m	4.5	0-10	n.m	n.m	0.8	0.5-1.7

Cd ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	<5	0-5	1.5	0-4	n.m	n.m	0.1	0.06-0.6
As ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	<1	0-1	3	0-6	n.m	n.m	0.5	0.3-0.8
Zn ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	<500	100-500	160	120-280	n.m	n.m	3.9	0.6-15.8
Al ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	<100	0-100	225	100-400	n.m	n.m	78.3	37.8-180.2
Coliformes totais (CFU·100 ml ⁻¹)	<1	0-398	70	0-320	40	<10-10 ⁴	50	0-10 ⁵
<i>E. coli</i> (CFU·100 ml ⁻¹)	n.m	n.m	10	0-60	2	<10-5500	50	0-10 ⁴
<i>Enterococci</i>	n.m	n.m	n.m	n.m	45	<10-10 ⁴	<890	0-890
Demanda de oxigênio químico (mg·L ⁻¹)	n.m	n.m	n.m	n.m	<30	<30-34	<9.5	<4.0-9.5

n.m. = não medido

n.d. = não detectado

baixo = detectado em concentrações muito baixas (não especificadas)

7. Conclusões

A abordagem proposta para o estudo deste tema combina a avaliação de ambos os principais contaminantes físico-químicos e microbiológicos, junto com os fenômenos físicos que estão por trás da remoção e transporte destes contaminantes, e com as experiências práticas e estudos de caso sobre sistemas de aproveitamento de água de chuva ao redor do mundo que foram encontrados na literatura científica.

Desta forma, a qualidade da água de chuva captada é considerada como a soma de três estágios principais. Em cada estágio, diferentes processos acontecem e adicionam contaminantes específicos à precipitação inicial. Unicamente no terceiro estágio, após o descarte da água de chuva inicial altamente poluída, alguns processos físicos (sedimentação e um aumento do pH) podem também melhorar a qualidade da água captada.

Esta abordagem se mostrou adequada, já que os fenômenos físicos envolvidos (*build-up* ou

acumulação, remoção, lavagem) são comuns para a maioria dos contaminantes microbiológicos e químicos. Além disso, oferece uma visão clara sobre o conjunto de processos de contaminação que ocorrem num sistema de aproveitamento de água de chuva.

A seguir, a Figura 108 resume os três estágios principais na contaminação da água de chuva, mostrando para cada estágio os fenômenos que afetam à qualidade da água captada.

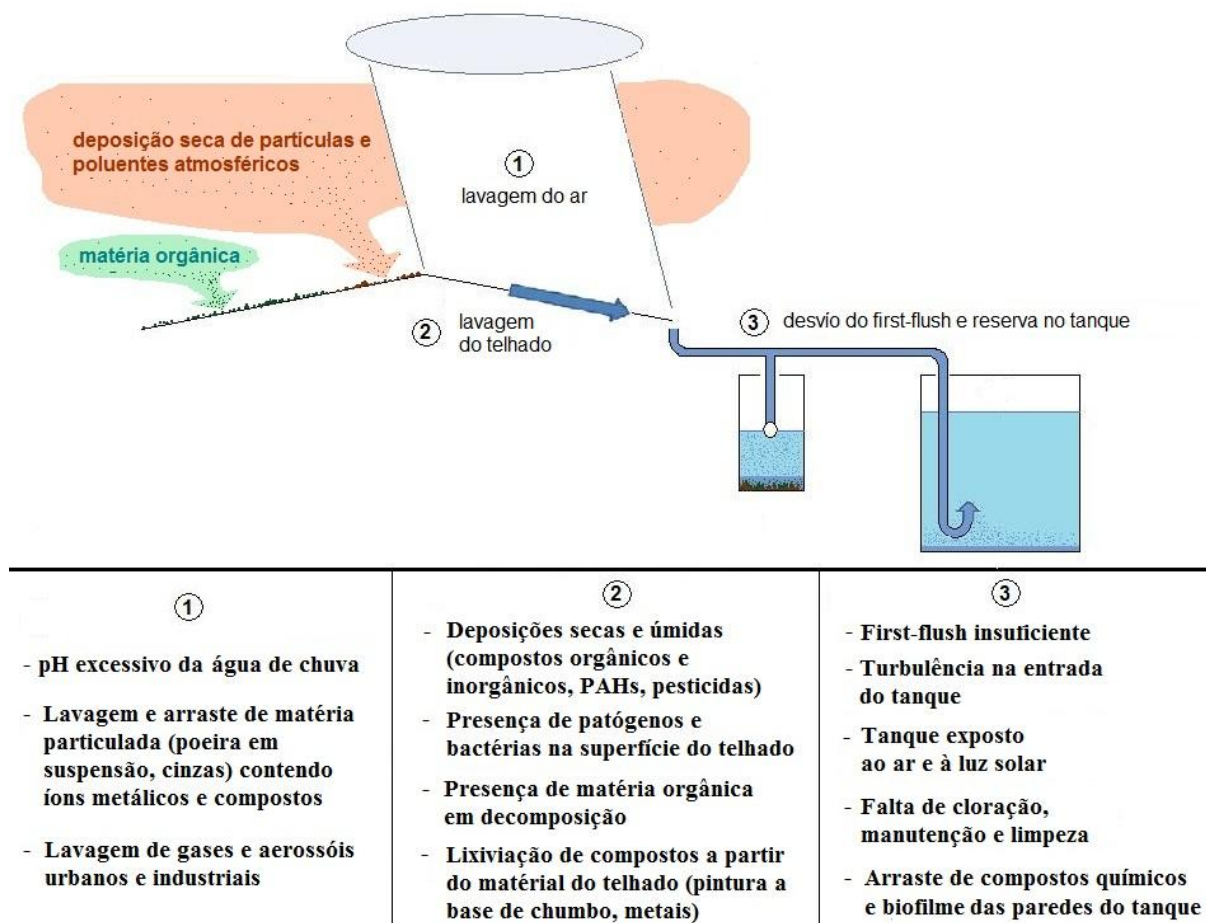


Figura 108: Os três estágios principais na contaminação da água em um sistema de captação e reserva de água de chuva, segundo a proposta deste trabalho.

Antes da interceptação nas superfícies de captação, a água de chuva pode apresentar algum grau de contaminação já que passou pelo primeiro estágio que influencia sua qualidade. O primeiro estágio na contaminação da água de chuva ocorre quando a chuva lava e retira componentes dos aerossóis, gases e partículas finas voláteis da atmosfera urbana. A fonte destes contaminantes pode ser o trânsito e as atividades industriais locais ou pode estar localizada a grande distância, dependendo das

características das partículas. No tocante ao pH da chuva em áreas urbanas, os valores relatados pelos diferentes estudos variam de 4.5 a 10.4 e mostram que a atividade antropogénica pode ter um grande efeito neste parâmetro.

Foram revisados vários estudos que mostram análises da água de chuva em áreas urbanas. Seus resultados ilustram que as áreas fortemente urbanizadas podem apresentar concentrações significativas de íons na chuva como é o caso do amônio (NH_4^+) assim como do nitrato (NO_3^-) e sulfato (SO_4^{2-}) provenientes do trânsito e outras atividades antropogénicas. A presença de outros compostos tóxicos na água de chuva, retirados da atmosfera, pode ser de particular importância em algumas áreas específicas. Este é o caso de alguns contaminantes emergentes, como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs), os compostos perfluorinados, as dioxinas e os compostos carbonílicos. A presença destes grupos de contaminantes na chuva urbana assim como seu efeito poluidor através da deposição úmida nas superfícies de captação ainda precisa de maiores pesquisas.

O segundo estágio se refere à deposição atmosférica de contaminantes químicos e microbiológicos na superfície de captação, os quais se acumulam no período seco entre eventos de chuva (processo de *build-up*). Estes contaminantes são removidos das superfícies de captação através do processo de lavagem, o qual depende da intensidade da chuva e da turbulência e energia cinética do escoamento.

A lavagem das superfícies de captação é a principal fonte de contaminação microbiológica da água de chuva captada nos telhados, já que patógenos transmitidos pelo ar e matéria orgânica são depositados nelas. As bactérias fecais lavadas desde o telhado são uma carga poluente comum e sua detecção aparece em todas as análises de qualidade da água de chuva revisadas. Embora, podem não ser um indicador adequado da presença de patógenos transmitidos pela água. As fezes de pássaro merecem uma atenção especial por serem um vetor de *Campylobacter* e alguns dos trabalhos revisados também têm associado elas à presença de *Salmonella* na água de chuva.

Com respeito à contaminação físico-química neste estágio, pode ser significativa a presença de metais pesados na matéria particulada assentada sobre as superfícies de captação, por meio da deposição úmida ou seca dependendo da sua solubilidade. Foi achado que o aerossol marinho é uma importante fonte de deposições úmidas e ocultas nas áreas costeiras. Também foi achado que o tipo e material da superfície de captação pode influenciar a contaminação do escoamento de uma maneira significativa.

Em relação ao terceiro estágio, as principais conclusões são a influência de uma correta

regulação do *first-flush* e a necessidade de seguir boas práticas no tocante à limpeza, desinfecção e manutenção dos sistemas de captação e reserva.

O *first-flush* (escoamento inicial) contém as maiores concentrações de matéria particulada e com elas a maioria dos poluentes, portanto um volume adequado deste escoamento inicial deve ser desviado e descartado. A otimização do volume de *first-flush* de acordo com a intensidade da chuva e com o período prévio sem chuva é crítica para obter uma remoção efetiva dos poluentes da água de chuva que caso contrário entrariam no tanque de reserva.

Durante o estágio de reservação, dois fenômenos físicos que contribuem à melhora da qualidade da água de chuva captada são o aumento do pH e especialmente a sedimentação. A remoção de compostos químicos e orgânicos não deveria ter um efeito considerável na qualidade da água de chuva reservada se são feitas uma boa manutenção e uma boa seleção da pintura impermeável do tanque. Os sistemas de aproveitamento de água de chuva podem ser uma fonte de contaminação bacteriana e por isso uma manutenção e limpeza adequadas de seus componentes é crucial para evitar a presença de patógenos. Inclusive quando a água de chuva captada seja destinada a usos não potáveis (por exemplo, descargas nos sanitários ou jardinagem) a cloração dos tanques de reserva pode evitar a presença de patógenos transmitidos pela água ou a proliferação de larvas de mosquito.

Finalmente, uma conclusão comum aos diferentes estudos que tratam este tema é que a água de chuva captada neste tipo de sistemas deve ser tratada antes de ser usada para fins potáveis. Em geral, as análises da água de chuva nos trabalhos revisados apontam para valores aceitáveis dos parâmetros físico-químicos. Os valores obtidos para os parâmetros microbiológicos indicam uma baixa qualidade da água e subsequentemente um elevado risco à saúde. Para atender os padrões e portarias requeridos para fins potáveis, é recomendado o uso de sistemas nos pontos finais de consumo como lâmpadas UV e desinfecção por ozônio.

APÊNDICE VI

PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS

A seguir apresentam-se os orçamentos dos dois sistemas propostos para reservar e distribuir a água de chuva captada na Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Os valores detalhados nestes orçamentos foram usados no Capítulo 4.2 – Estimativa de Custos, dentro do exemplo ilustrado de análise de viabilidade econômica.

Os dois cenários de atendimento considerados deram lugar a dois sistemas diferentes, com valores e características diferenciadas.

- O sistema que visa atender a demanda de água para fins não potáveis real do prédio. Esta demanda foi identificada mediante a pesquisa mostrada no Apêndice II e quantificada em 60% da demanda de água total do prédio (Cenário 60%). Este sistema precisa de uma rede de distribuição de água de chuva até os pontos de consumo propostos (destiladores, torneiras e descargas nos banheiros), paralela à rede potável existente. Os custos fixos compreendem uma capacidade de reserva mínima de 9 m^3 , necessária para o correto funcionamento do sistema: 2 reservatórios de distribuição (2 m^3 e 3 m^3), mais 4 caixas de 1 m^3 (2 para re-alimentação com água potável e 2 que agem como poço de sucção das bombas). A partir desta capacidade mínima de reserva, podem ser acrescentadas novas caixas de água de 1 m^3 interligadas. A função de custo resulta: $C(V) = A + B \cdot V$, sendo V o número de módulos adicionais de 1 m^3 , de forma que a reserva final totaliza $9 + V \text{ m}^3$.

- O sistema que visa atender toda a demanda de água do prédio (Cenário 100%) faz uso do reservatório superior de concreto do prédio, com capacidade de $31,5 \text{ m}^3$. Adicionalmente, duas caixas d'água de 1 m^3 são necessárias como poços de sucção das duas bombas consideradas. Os custos fixos compreendem uma capacidade de reserva mínima de $33,5 \text{ m}^3$. Inclui duas estações de tratamento (cloração + filtração) e desinfecção mediante lâmpadas UV. A função de custo resulta: $C(V) = A + B \cdot V$, sendo V o número de módulos adicionais de 1 m^3 , de forma que a reserva final totaliza $33,5 + V \text{ m}^3$.

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS					
ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE					
PROJETO:		SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA			
		SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 60% (CENÁRIO 60%)			
LOCAL:		ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA)			
		Base dos Preços : Julho/ 2014			
ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
1	CAPTAÇÃO				
	CALHAS DE CAPTAÇÃO				
1.1	CALHA - PERFIL				
1.1.1	Calha Aquapluv 3 m Tigre	PÇ.	100,00	48,90	4.890,00
1.2	CALHA - CABEÇEIRA				
1.2.1	Cabeceiras Aquapluv Tigre (esquerda e direita)	PÇ.	12,00	6,90	82,80
1.3	CALHA - BOCAL				
1.3.1	Bocal Aquapluv B. Mr Bege Dn 125x88 Tigre	PÇ.	12,00	37,84	454,08
1.4	CALHA - EMENDA (união entre calhas)				
1.4.1	Emenda Aquapluv Tigre	PÇ.	88,00	11,90	1.047,20
1.5	CALHA - JUNTAS DE VEDAÇÃO (união entre calhas)				
1.5.1	Vedação Calha Aquapluv Tigre, para vedar as juntas das calhas com as conexões.	PÇ.	200,00	2,20	440,00
1.6	CONDUÇÃO ATÉ A CAIXA D'ÁGUA				
1.6.1	Acopamento Circular Aquapluv Style Bege Tigre Bocal-Conductor para as caixas	PÇ.	12,00	6,80	81,60
1.6.2	Joelho 90° Circular Aquapluv Tigre Ø = 88mm	PÇ.	12,00	7,90	94,80
1.6.3	Tubo Conductor Aquapluv 3 Mts Tigre Ø = 88mm	PÇ.	6,00	44,90	269,40
	MATERIAIS DE FIXAÇÃO DAS CALHAS				
1.7	BRAÇADEIRA - BASE e CORPO				
1.7.1	Suporte Metálico Aqua Beiral Aquapluv Tigre	PÇ.	34,00	30,94	1.051,96
1.8	BRAÇADEIRA - PARAFUSO				
1.8.1	Conjunto de parafusos e porcas para fixação de um suporte metálico	PÇ.	34,00	5,00	170,00
TOTAL DA CAPTAÇÃO				R\$ 8.581,84	
2	RESERVATÓRIOS FUNCIONAIS (CAPACIDADE FIXA DE 8 M3)				
2.1	RESERVATÓRIOS BAIXO O TELHADO DO ANDAR 8 PARA SUÇÃO DAS BOMBAS: CAIXAS D'ÁGUA DE 1000L DE BAIXA ALTURA				
2.1.1	Caixa Multiuso FORTLEV / Capacidade: 1.000 Litros / Altura com tampa: 0,61m / Diâmetro da base: 1,85m / Diâmetro da boca com tampa: 1,82m	UD.	2,00	1.090,00	2.180,00
2.2	RESERVATÓRIOS BAIXO O TELHADO DO ANDAR 8 PARA RE-ALIMENTAÇÃO COM ÁGUA POTÁVEL: CAIXAS D'ÁGUA DE 1000L DE BAIXA ALTURA				
2.2.1	Caixa Multiuso FORTLEV / Capacidade: 1.000 Litros / Altura com tampa: 0,61m / Diâmetro da base: 1,85m / Diâmetro da boca com tampa: 1,82m	UD.	2,00	1.090,00	2.180,00
2.3	ACESSÓRIOS DO SISTEMA DE RE-ALIMENTAÇÃO				
2.3.1	Torneira boia para caixa d'água ¾" (DN 20)	UD.	2,00	24,00	48,00
2.3.2	Adaptador soldável com anel (flange) para caixa d'água 50mm x ¾"	UD.	2,00	10,00	20,00

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE PROJETO: SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 60% (CENÁRIO 60%) LOCAL: ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA) Base dos Preços : Julho/ 2014					
ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
2.3.3	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	2,00	35,00	70,00
2.3.4	Tê de redução PVC BBB JS DN 50 X 32	UD.	2,00	10,00	20,00
2.3.5	Luva de correr PVC JS DN 32	UD.	4,00	10,00	40,00
2.3.6	C45o PVC JS DN 32	UD.	10,00	2,20	22,00
2.3.7	Joelho 90° PVC JS DN 32	UD.	4,00	2,00	8,00
2.3.8	Tubo PVC JS DN 32 (1½")	M.	20,00	2,50	50,00
2.4	TUBOS DE PVC C/ JUNTA SOLDÁVEL				
2.4.1	Tubo PVC JS DN 32 (1½")	M.	2,00	2,50	5,00
2.4.2	Tubo PVC JS DN 50 (2")	M.	6,00	5,50	33,00
2.4.3	Tubo PVC JS DN 75 (3")	M.	0,60	12,00	7,20
2.5	ACESSÓRIOS DE ENTRADA				
2.5.1	Registro de esfera soldável 2" (DN 50)	UD.	4,00	28,80	115,20
2.5.2	Torneira boia para caixa d'água ¾" (DN 20)	UD.	4,00	24,00	96,00
2.5.3	Adaptador soldável com anel (flange) para caixa d'água 50mm x ¾"	UD.	4,00	10,00	40,00
2.5.4	Bucha de redução soldável curta DN 85 x 75	UD.	4,00	12,00	48,00
2.5.5	Tê de redução soldável PVC BBB DN 75 X 50	UD.	4,00	30,00	120,00
2.6	ACESSÓRIOS DE SAÍDA				
2.6.1	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	2,00	23,00	46,00
2.6.2	Adaptadores soldáveis com anel (flange) para caixa d'água 40 mm x 1½" (DN 32)	UD.	2,00	22,90	45,80
2.7	ACESSÓRIOS DE INTERLIGAÇÃO				
2.7.1	Registro de esfera soldável 2" (DN 50)	UD.	4,00	40,15	160,60
2.7.2	Adaptador soldável com anel (flange) para caixa d'água 50mm x 2" (DN 50)	UD.	4,00	22,90	91,60
2.8	EXTRAVASOR + LIMPEZA				
2.8.1	Adaptadores soldáveis com anel (flange) para caixa d'água 40 mm x 1½" (DN 32)	UD.	8,00	22,90	183,20
2.8.2	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	8,00	23,00	184,00
2.8.3	Joelho 90° PVC JS DN 32	UD.	4,00	2,00	8,00
2.9	RESERVAÇÃO ACIMA DA ENTRADA PRINCIPAL (ANDAR 7) : CAIXAS D'ÁGUA DE 2000L				
2.9.1	Caixa d'água em polietileno / Capacidade: 2.000 Litros / Altura com tampa: 1,10m / Diâmetro da base: 1,55m / Diâmetro da boca com tampa: 1,89m / Peso com água: 2136,00 kg .	UD.	1,00	978,00	978,00
2.10	ACESSÓRIOS DE ENTRADA - RES. 2000L				
2.10.1	Adaptador soldável com anel (flange) para caixa d'água 32mm x ¾" (DN 20)	UD.	1,00	22,90	22,90
2.10.2	Torneira boia para caixa d'água ¾" (DN 20)	UD.	1,00	24,00	24,00

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS**ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE****PROJETO: SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA****SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 60% (CENÁRIO 60%)****LOCAL: ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA)****Base dos Preços : Julho/ 2014**

ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
2.10.3	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	1,00	35,00	35,00
2.10.4	Hidrômetro multijato magnético c/ relojoaria seca, c/ opção de saída p/ telemetria, classe B, 5 m³/h x 1½" (DN 32)	UD.	1,00	180,00	180,00
2.10.5	Conjunto de conexões para hidrômetro 5 m³/h DN 32 em polipropileno (Luva de redução DN 32 x 50 + tubetes + porcas e juntas de vedação)	UD.	1,00	25,00	25,00
2.10.6	Caixa completa p/ hidrômetro, em plástico, dimensões internas de 0.38X0.26X0.12m.	UD.	1,00	30,00	30,00
2.10.7	Joelho 90° PVC JS DN 32	UD.	2,00	2,00	4,00
2.11	ACESSÓRIOS DE SAÍDA - RES. 2000L				
2.11.1	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	1,00	23,00	23,00
2.11.2	Adaptadores soldáveis com anel (flange) para caixa d'água 40 mm x 1½" (DN 32)	UD.	1,00	22,90	22,90
2.12	EXTRAVASOR + LIMPEZA - RES. 2000L				
2.12.1	Adaptadores soldáveis com anel (flange) para caixa d'água 40 mm x 1½" (DN 32)	UD.	1,00	22,90	22,90
2.12.2	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	1,00	23,00	23,00
2.12.3	Joelho 90° PVC JS DN 32	UD.	1,00	2,00	2,00
2.13	RESERVATÓRIO DE DISTRIBUIÇÃO DAS PRUMADAS 2 E 3 (BANHEIROS): CAIXA D'ÁGUA DE 3000L				
2.13.1	Caixa d'água em polietileno / Capacidade: 3.000 Litros / Altura com tampa: 1,38m / Diâmetro da base: 1,74m / Diâmetro da boca com tampa: 2,19m / Peso com água: 3149,00 kg	UD.	1,00	1.645,00	1.645,00
2.14	ACESSÓRIOS DE ENTRADA - RES. 3000L				
2.14.1	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	2,00	23,00	46,00
2.14.2	Torneira boia para caixa d'água ¾" (DN 20)	UD.	2,00	24,00	48,00
2.14.3	Adaptador soldável com anel (flange) para caixa d'água 50mm x ¾"	UD.	2,00	10,00	20,00
2.14.4	Luva de correr PVC JS DN 32	UD.	2,00	10,00	20,00
2.14.5	Joelho 90° PVC JS DN 32	UD.	4,00	2,00	8,00
2.15	ACESSÓRIOS DE SAÍDA - RES. 3000L				
2.15.1	Registro de esfera soldável 2" (DN 50)	UD.	2,00	40,15	80,30
2.15.2	Luva de correr PVC JS DN 50	UD.	3,00	10,00	30,00
2.15.3	Tê soldável PVC BBB DN 50	UD.	1,00	7,00	7,00
2.15.4	Adaptador soldável com anel (flange) para caixa d'água 50mm x 2" (DN 50)	UD.	1,00	22,90	22,90
2.16	EXTRAVASOR + LIMPEZA - RES. 3000L				
2.16.1	Adaptadores soldáveis com anel (flange) para caixa d'água 40 mm x 1½" (DN 32)	UD.	1,00	22,90	22,90
2.16.2	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	1,00	23,00	23,00
2.16.3	Joelho 90° PVC JS DN 32	UD.	1,00	2,00	2,00
2.17	RESPIROS PARA ADMISSÃO DE AR				
2.17.1	Tubo PVC JS DN 32 (1½")	M.	4,00	2,50	10,00
2.17.2	Tê de redução PVC BBB JS DN 50 X 32	UD.	1,00	10,00	10,00
2.17.3	Tê soldável PVC BBB DN 32	UD.	3,00	3,00	9,00
TOTAL DOS RESERVATÓRIOS				R\$ 9.218,40	

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS					
ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE					
PROJETO: SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA					
SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 60% (CENÁRIO 60%)					
LOCAL: ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA)					
Base dos Preços : Julho/ 2014					
ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
3	RESERVATÓRIOS - AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE DE RESERVA (ACRÉSCIMOS DE 1 M3)				
3.1	RESERVATÓRIOS BAIXO O TELHADO DO ANDAR 8: CAIXAS D'ÁGUA DE 1000L DE BAIXA ALTURA				
3.1.1	Caixa Multiuso FORTLEV / Capacidade: 1.000 Litros / Altura com tampa: 0,61m / Diâmetro da base: 1,85m / Diâmetro da boca com tampa: 1,82m	UD.	1,00	1.090,00	1.090,00
3.2	TUBOS DE PVC C/ JUNTA SOLDÁVEL				
3.2.1	Tubo PVC JS DN 32 (1½")	M.	2,00	2,50	5,00
3.2.2	Tubo PVC JS DN 50 (2")	M.	3,00	5,50	16,50
3.2.3	Tubo PVC JS DN 75 (3")	M.	0,30	12,00	3,60
3.3	ACESSÓRIOS DE ENTRADA				
3.3.1	Registro de esfera soldável 2" (DN 50)	UD.	1,00	40,15	40,15
3.3.2	Torneira boia para caixa d'água ¾" (DN 20)	UD.	1,00	24,00	24,00
3.3.3	Adaptador soldável com anel (flange) para caixa d'água 50mm x ¾"	UD.	1,00	10,00	10,00
3.3.4	Bucha de redução soldável curta DN 85 x 75	UD.	1,00	12,00	12,00
3.3.5	Tê de redução soldável PVC BBB DN 75 X 50	UD.	1,00	30,00	30,00
3.4	ACESSÓRIOS DE SAÍDA				
3.4.1	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	2,00	23,00	46,00
3.4.2	Adaptadores soldáveis com anel (flange) para caixa d'água 40 mm x 1½" (DN 32)	UD.	2,00	22,90	45,80
3.5	ACESSÓRIOS DE INTERLIGAÇÃO				
3.5.1	Registro de esfera soldável 2" (DN 50)	UD.	2,00	40,15	80,30
3.5.2	Adaptador soldável com anel (flange) para caixa d'água 50mm x 2" (DN 50)	UD.	2,00	22,90	45,80
3.6	EXTRAVASOR + LIMPEZA				
3.6.1	Adaptadores soldáveis com anel (flange) para caixa d'água 40 mm x 1½" (DN 32)	UD.	2,00	22,90	45,80
3.6.2	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	1,00	23,00	23,00
3.6.3	Joelho 90° PVC JS DN 32	UD.	1,00	2,00	2,00
TOTAL DA RESERVAÇÃO POR CADA 1 M3 ADICIONAL				R\$ 1.519,95	

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS**ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE****PROJETO: SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA****SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 60% (CENÁRIO 60%)****LOCAL: ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA)****Base dos Preços : Julho/ 2014**

ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
4	SISTEMA DE DESCARTE DO ESCOAMENTO INICIAL (FIRST-FLUSH)				
4.1	TANQUES DE FIRST FLUSH BAIXO O TELhado DO ANDAR 8 (CAIXAS D'ÁGUA DE 500L)				
4.1.1	Caixa d'água em polietileno / Capacidade: 500 Litros / Altura com tampa: 0,75m / Diâmetro da base: 0,95m / Diâmetro da boca com tampa: 1,24m / Peso com água: 522,20 kg .	UD.	6,00	240,00	1.440,00
4.2	TUBOS DE PVC C/ JUNTA SOLDÁVEL				
4.2.1	Tubo PVC JS DN 50	M.	12,00	5,50	66,00
4.2.2	Tubo PVC JS DN 75	M.	3,00	12,00	36,00
4.3	ACESSÓRIOS DE ENTRADA				
4.3.1	Adaptador soldável com anel (flange) para caixa d'água 50mm x 2" (DN 50)	UD.	6,00	22,90	137,40
4.3.2	Bucha de redução soldável curta DN 85 x 75	UD.	6,00	12,00	72,00
4.3.3	Bucha de redução soldável longa DN 75 x 50	UD.	6,00	12,00	72,00
4.3.4	Registro de esfera soldável 2" (DN 50)	UD.	6,00	35,00	210,00
4.3.5	Bola flutuante para obturar a entrada da caixa d'água DN 75	UD.	6,00	20,00	120,00
4.3.6	Tê de redução soldável PVC BBB DN 75 X 50	UD.	6,00	30,00	180,00
4.4	EXTRAVASOR + LIMPEZA				
4.4.1	Adaptadores soldáveis com anel (flange) para caixa d'água 40 mm x 1½" (DN 32)	UD.	6,00	22,90	137,40
4.4.2	Joelho 90° soldável 32mm	UD.	6,00	2,00	12,00
TOTAL DO SISTEMA FIRST-FLUSH				R\$ 2.482,80	
5	RECALQUE ATÉ O RESERVATÓRIO DE DISTRIBUIÇÃO DE 3000L				
5.1	BOMBAS SUBMERSÍVEIS				
5.1.1	Bomba centrífuga submersível monofásica 0,5 CV 110V ou 220V com comando-boia (KSB AMA Drainer ou Ferrari XKS) ; Q = 1,2 / 3,6 m³/h ; H = 8 m	UD.	2,00	620,00	1.240,00
5.1.2	Material elétrico auxiliar	UD.	2,00	100,00	200,00
5.2	LINHAS DE RECALQUE (DN 32)				
5.2.1	Adaptador PVC Ponta e Rosca DN 32	UD.	2,00	10,00	20,00
5.2.2	Válvula de retenção roscável DN 32	UD.	2,00	20,00	40,00
5.2.3	Luva de redução PVC JR DN 25 x DN 32	UD.	2,00	21,00	42,00
5.2.4	Luva de correr PVC JS DN 32	UD.	4,00	10,00	40,00
5.2.5	C45o PVC JS DN 32	UD.	10,00	2,20	22,00
5.2.6	Joelho 90° PVC JS DN 32	UD.	10,00	2,00	20,00
5.2.7	Abraçadeira tipo omega em aço galv. d= 1½"	UD.	60,00	1,50	90,00
5.2.8	Tubo PVC JS DN 32 (1½")	M.	300,00	2,50	750,00
5.2.9	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	2,00	23,00	46,00
5.2.10	Filtro 3/4" Flux para entrada de Caixa D'Água, posição horizontal. Pressão de Operação: 60mca máx / 2mca mín. Recambio do elemento filtrante a cada 6 meses.	UD.	3,00	117,00	351,00
TOTAL DO RECALQUE				R\$ 2.861,00	

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS					
ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE					
PROJETO: SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 60% (CENÁRIO 60%)					
LOCAL: ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA) Base dos Preços : Julho/ 2014					
ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
6	FILTRAGEM				
6.1	FILTROS DOMÉSTICOS COM MATERIAL FILTRANTE DESCARTÁVEL, SEM NECESSIDADE DE RETROLAVAGEM. FILTROS NA DISTRIBUIÇÃO (ANTES DO CONSUMO NOS LABORATÓRIOS)				
6.1.1	Filtro 3/4" Flux para entrada de Caixa D'Água, posição horizontal. Pressão de Operação: 60mca máx / 2mca mín. Recambio do elemento filtrante a cada 6 meses.	UD.	3,00	117,00	351,00
TOTAL DA FILTRAGEM				R\$ 351,00	
7	DISTRIBUIÇÃO PARA OS PONTOS DE CONSUMO (DN 50, 32, DN 25 e DN 20)				
7.1	TUBOS DE PVC C/ JUNTA SOLDÁVEL				
7.1.1	Tubo PVC JS DN 20 (¾")	M.	78,00	1,50	117,00
7.1.2	Tubo PVC JS DN 25 (1")	M.	120,00	2,00	240,00
7.1.3	Tubo PVC JS DN 32 (1½")	M.	300,00	2,50	750,00
7.1.4	Tubo PVC JS DN 50 (2")	M.	40,00	5,50	220,00
7.2	PEÇAS E CONEXÕES				
7.2.1	Abraçadeira tipo D em aço galv. d= 4"	UD.	10,00	6,00	60,00
7.2.2	Abraçadeira tipo omega em aço galv. d= 2"	UD.	8,00	2,50	20,00
7.2.3	Braçadeira de encaixe PVC DN 25	UD.	24,00	2,50	60,00
7.2.4	Braçadeira de encaixe PVC DN 20	UD.	60,00	2,50	150,00
7.2.5	Registro de esfera soldável 2" (DN 50)	UD.	2,00	35,00	70,00
7.2.6	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	15,00	23,00	345,00
7.2.7	Registro de esfera soldável PVC 1" (DN 25)	UD.	6,00	18,00	108,00
7.2.8	Registro de esfera soldável PVC ¾" (DN 20)	UD.	4,00	15,00	60,00
7.2.9	C45o PVC JS DN 50	UD.	8,00	7,00	56,00
7.2.10	C45o PVC JS DN 32	UD.	60,00	2,20	132,00
7.2.11	C45o PVC JS DN 25	UD.	24,00	1,80	43,20
7.2.12	C45o PVC JS DN 20	UD.	16,00	1,60	25,60
7.2.13	Joelho 90° PVC JS DN 50	UD.	8,00	7,00	56,00
7.2.14	Joelho 90° PVC JS DN 32	UD.	60,00	2,00	120,00
7.2.15	Joelho 90° PVC JS DN 25	UD.	24,00	1,00	24,00
7.2.16	Joelho 90° PVC JS DN 20	UD.	16,00	0,50	8,00
7.2.17	Tê soldável PVC BBB DN 50	UD.	2,00	7,00	14,00
7.2.18	Tê soldável PVC BBB DN 32	UD.	20,00	2,50	50,00
7.2.19	Tê soldável PVC BBB DN 25	UD.	8,00	1,20	9,60
7.2.20	Tê soldável PVC BBB DN 20	UD.	8,00	1,00	8,00
7.2.21	Tê de redução PVC BBB JS 50 x 32	UD.	2,00	10,00	20,00
7.2.22	Tê de redução PVC BBB JS 32 x 25	UD.	6,00	4,50	27,00
7.2.23	Tê de redução PVC BBB JS 25 x 20	UD.	6,00	2,00	12,00
7.2.24	Bucha de redução longa PVC JS DN 50 X 32	UD.	2,00	3,00	6,00
7.2.25	Bucha de redução longa PVC JS DN 50 X 25	UD.	2,00	2,20	4,40

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS**ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE****PROJETO: SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA****SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 60% (CENÁRIO 60%)****LOCAL: ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA)****Base dos Preços : Julho/ 2014**

ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
7.2.26	Bucha de redução longa PVC JS DN 50 X 20	UD.	2,00	2,20	4,40
7.2.27	Bucha de redução longa PVC JS DN 32 X 20	UD.	12,00	1,50	18,00
7.2.28	Luva de redução PVC JS 25 x 20	UD.	4,00	1,50	6,00
7.2.29	Luva de redução PVC JS 32 x 25	UD.	5,00	2,00	10,00
7.2.30	Luva PVC JS DN 50	UD.	2,00	3,00	6,00
7.2.31	Luva PVC JS DN 32	UD.	12,00	1,50	18,00
7.2.32	Luva PVC JS DN 25	UD.	5,00	1,00	5,00
7.2.33	Luva PVC JS DN 20	UD.	4,00	1,00	4,00
7.2.34	Luva de correr PVC JS DN 32	UD.	12,00	2,50	30,00
7.2.35	Luva de correr PVC JS DN 25	UD.	5,00	7,00	35,00
7.2.36	Luva de correr PVC JS DN 20	UD.	4,00	5,50	22,00
7.2.37	Adaptador PVC JS curto c/ bolsa e rosca p/ registro DN 25 X 20 (¾")	UD.	8,00	0,80	6,40
7.2.38	Torneira cromada roscável ¾"	UD.	8,00	25,00	200,00
7.2.39	CAP PVC JS DN 32	UD.	2,00	2,00	4,00
7.2.40	CAP PVC JS DN 25	UD.	4,00	1,40	5,60
7.2.41	CAP PVC JS DN 20	UD.	4,00	1,00	4,00
7.3	ADESIVO PLÁSTICO				
7.3.1	Adesivo PVC Frasco 850g	UD.	10,00	40,90	409,00
7.4	SOLUÇÃO LIMPIADORA, para retirar os resíduos das conexões e tubos, preparando o tubo para soldagem				
7.4.1	Solucao Limpadora 1000cc Sd-35	UD.	8,00	41,29	330,32
TOTAL DA DISTRIBUIÇÃO				R\$ 3.933,52	
TOTAL MATERIAIS (R\$)				28.948,51	

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS					
ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE					
PROJETO:		SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA			
		SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 60% (CENÁRIO 60%)			
LOCAL:		ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA)			
Base dos Preços : Julho/ 2014					
ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
1	SERVIÇOS DE OBRA CIVIL				
1.1	ELEVAÇÃO DA ALTURA DO TELHADO				
1.1.1	Serviço de pedreiro para desmontagem e posterior montagem de cobertura	M2	500,00	7,00	3.500,00
1.1.2	Eventual substituição de telhas quebradas (material e serviço de pedreiro)	M2	250,00	16,00	4.000,00
1.1.3	Obra de alvenaria para suporte da cobertura (material e serviço de pedreiro)	M	33,33	9,00	300,00
1.1.4	Re-aplicação de impermeabilizante (material e serviço de pedreiro)	M2	17,00	25,00	425,00
1.2	INSTALAÇÃO E CAMINHAMENTO DE TUBULAÇÕES EMBUTIDAS				
1.2.1	Instalação de tubulações embutidas nas paredes ou através das mesmas	M	12,00	37,84	454,08
1.2.2	Aplicação de pintura c/ massa, duas demãos (material e serviço de pedreiro)	M2	10,00	25,00	250,00
TOTAL DA OBRA CIVIL					R\$ 8.929,08
2	SERVIÇOS DE MONTAGEM HIDRÁULICA E ELÉTRICA				
2.1	TRANSPORTE, MONTAGEM E ASSENTAMENTO DAS CAIXAS DE ÁGUA				
2.1.1	Frete de uma caixa de água PVC de 1 a 3 m3 (distância=15 km)	UD.	9,00	50,00	450,00
2.1.2	Serviço de pedreiro para descarga, transporte e assentamento no local	UD.	9,00	400,00	3.600,00
2.2	TRANSPORTE E MONTAGEM DE MATERIAL HIDRÁULICO				
2.2.1	Frete do material (tubos e conexões) até o local (distância=15 km)	KG.	1.276,00	0,50	638,00
2.2.2	Serviço de pedreiro para descarga, transporte e assentamento no local	KG.	1.276,00	2,00	2.552,00
2.2.3	Diária de ENCANADOR (bombeiro hidráulico) para montagem de tubos e conexões em PVC soldável DN 20 a 50 mm	D	60,00	70,00	4.200,00
2.2.4	Diária de AUXILIAR DE ENCANADOR para montagem de tubos e conexões em PVC soldável DN 20 a 50 mm	D	60,00	35,00	2.100,00
2.3	FIAÇÃO, DISJUNTORES E CONEXÕES DAS BOMBAS SUBMERSÍVEIS				
2.3.1	Serviços de TÉCNICO ELETRICISTA	H	2,00	40,00	80,00
TOTAL DA MONTAGEM HIDRÁULICA E ELÉTRICA					R\$ 13.620,00

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS**ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE**

PROJETO: SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA

SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 60% (CENÁRIO 60%)

LOCAL: ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA)

Base dos Preços : Julho/ 2014

ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
3	RESERVATÓRIOS - AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE DE RESERVA (ACRÉSCIMOS DE 1 M3)				
3.1	ELEVAÇÃO DA ALTURA DO TELHADO				
3.1.1	Serviço de pedreiro para desmontagem e posterior montagem de cobertura	M2	10,00	7,00	70,00
3.1.2	Eventual substituição de telhas quebradas (material e serviço de pedreiro)	M2	5,00	16,00	80,00
3.1.3	Obra de alvenaria para suporte da cobertura (material e serviço de pedreiro)	M	10,00	9,00	90,00
3.1.4	Re-aplicação de impermeabilizante (material e serviço de pedreiro)	M2	5,00	25,00	125,00
3.2	TRANSPORTE, MONTAGEM E ASSENTAMENTO DAS CAIXAS DE ÁGUA				
3.2.1	Frete de uma caixa de água PVC de 1 a 3 m3 (distância=15 km)	UD.	1,00	50,00	50,00
3.2.2	Serviço de pedreiro para descarga, transporte e assentamento no local	UD.	1,00	400,00	400,00
3.3	TRANSPORTE E MONTAGEM DE MATERIAL HIDRÁULICO				
3.3.1	Frete do material (tubos e conexões) até o local (distância=15 km)	KG.	100,00	0,50	50,00
3.3.2	Serviço de pedreiro para descarga, transporte e assentamento no local	KG.	100,00	2,00	200,00
3.3.3	Diária de ENCANADOR (bombeiro hidráulico) para montagem de tubos e conexões em PVC soldável DN 20 a 50 mm	D	1,00	70,00	70,00
3.3.4	Diária de AUXILIAR DE ENCANADOR para montagem de tubos e conexões em PVC soldável DN 20 a 50 mm	D	1,00	35,00	35,00
TOTAL DA RESERVAÇÃO POR CADA 1 M3 ADICIONAL					
					R\$ 1.170,00
TOTAL SERVIÇOS (R\$)					
					23.719,08

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS**ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE****PROJETO:** SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA**SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 100% (CENÁRIO 100%)****LOCAL:** ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA)

Base dos Preços : Julho/ 2014

ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
1	CAPTAÇÃO				
	CALHAS DE CAPTAÇÃO				
1.1	CALHA - PERFIL				
1.1.1	Calha Aquapluv 3 m Tigre	PÇ.	100,00	48,90	4.890,00
1.2	CALHA - CABEÇEIRA				
1.2.1	Cabeceiras Aquapluv Tigre (esquerda e direita)	PÇ.	12,00	6,90	82,80
1.3	CALHA - BOCAL				
1.3.1	Bocal Aquapluv B. Mr Bege Dn 125x88 Tigre	PÇ.	12,00	37,84	454,08
1.4	CALHA - EMENDA (união entre calhas)				
1.4.1	Emenda Aquapluv Tigre	PÇ.	88,00	11,90	1.047,20
1.5	CALHA - JUNTAS DE VEDAÇÃO (união entre calhas)				
1.5.1	Vedação Calha Aquapluv Tigre, para vedar as juntas das calhas com as conexões.	PÇ.	200,00	2,20	440,00
1.6	CONDUÇÃO ATÉ A CAIXA D'ÁGUA				
1.6.1	Acopamento Circular Aquapluv Style Bege Tigre Bocal-Conductor para as caixas	PÇ.	12,00	6,80	81,60
1.6.2	Joelho 90° Circular Aquapluv Tigre Ø = 88mm	PÇ.	12,00	7,90	94,80
1.6.3	Tubo Conductor Aquapluv 3 Mts Tigre Ø = 88mm	PÇ.	6,00	44,90	269,40
	MATERIAIS DE FIXAÇÃO DAS CALHAS				
1.7	BRAÇADEIRA - BASE e CORPO				
1.7.1	Suporte Metálico Aqua Beiral Aquapluv Tigre	PÇ.	34,00	30,94	1.051,96
1.8	BRAÇADEIRA - PARAFUSO				
1.8.1	Conjunto de parafusos e porcas para fixação de um suporte metálico	PÇ.	34,00	5,00	170,00
TOTAL DA CAPTAÇÃO					
				R\$ 8.581,84	

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS					
ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE					
PROJETO:		SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA			
		SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 100% (CENÁRIO 100%)			
LOCAL:		ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA)			
Base dos Preços : Julho/ 2014					
ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
2	RESERVATÓRIOS FUNCIONAIS (CAPACIDADE FIXA DE 2 M3)				
2.1	RESERVATÓRIOS BAIXO O TELHADO DO ANDAR 8 PARA SUCÇÃO DAS BOMBAS: CAIXAS D'ÁGUA DE 1000L DE BAIXA ALTURA				
2.1.1	Caixa Multiuso FORTLEV / Capacidade: 1.000 Litros / Altura com tampa: 0,61m / Diametro da base: 1,85m / Diametro da boca com tampa: 1,82m	UD.	2,00	1.090,00	2.180,00
2.4	TUBOS DE PVC C/ JUNTA SOLDÁVEL				
2.4.1	Tubo PVC JS DN 32 (1½")	M.	2,00	2,50	5,00
2.4.2	Tubo PVC JS DN 50 (2")	M.	6,00	5,50	33,00
2.4.3	Tubo PVC JS DN 75 (3")	M.	0,60	12,00	7,20
2.5	ACESSÓRIOS DE ENTRADA				
2.5.1	Registro de esfera soldável 2" (DN 50)	UD.	2,00	28,80	57,60
2.5.2	Torneira boia para caixa d'água ¾" (DN 20)	UD.	2,00	24,00	48,00
2.5.3	Adaptador soldável com anel (flange) para caixa d'água 50mm x ¾"	UD.	2,00	10,00	20,00
2.5.4	Bucha de redução soldável curta DN 85 x 75	UD.	2,00	12,00	24,00
2.5.5	Tê de redução soldável PVC BBB DN 75 X 50	UD.	2,00	30,00	60,00
2.6	ACESSÓRIOS DE SAÍDA				
2.6.1	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	2,00	23,00	46,00
2.6.2	Adaptadores soldáveis com anel (flange) para caixa d'água 40 mm x 1½" (DN 32)	UD.	2,00	22,90	45,80
2.7	ACESSÓRIOS DE INTERLIGAÇÃO				
2.7.1	Registro de esfera soldável 2" (DN 50)	UD.	4,00	40,15	160,60
2.7.2	Adaptador soldável com anel (flange) para caixa d'água 50mm x 2" (DN 50)	UD.	4,00	22,90	91,60
2.8	EXTRAVASOR + LIMPEZA				
2.8.1	Adaptadores soldáveis com anel (flange) para caixa d'água 40 mm x 1½" (DN 32)	UD.	4,00	22,90	91,60
2.8.2	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	4,00	23,00	92,00
2.8.3	Joelho 90° PVC JS DN 32	UD.	2,00	2,00	4,00
2.9	ADESIVO PLÁSTICO				
2.9.1	Adesivo PVC Frasco 850g	UD.	10,00	40,90	409,00
2.10	SOLUÇÃO LIMPADORA, para retirar os residuos das conexões e tubos, preparando o tubo para soldagem				
2.10.1	Solução Limpadora 1000cc Sd-35	UD.	8,00	41,29	330,32
TOTAL DOS RESERVATÓRIOS					
				R\$ 2.966,40	

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS					
ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE					
PROJETO:	SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA				
	SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 100% (CENÁRIO 100%)				
LOCAL:	ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA)				
Base dos Preços : Julho/ 2014					
ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
3	SISTEMA DE DESCARTE DO ESCOAMENTO INICIAL (FIRST-FLUSH)				
3.1	TANQUES DE FIRST FLUSH BAIXO O TELHADO DO ANDAR 8 (CAIXAS D'ÁGUA DE 500L)				
3.1.1	Caixa d´água em polietileno / Capacidade: 500 Litros / Altura com tampa: 0,75m / Diâmetro da base: 0,95m / Diâmetro da boca com tampa: 1,24m / Peso com agua: 522,20 kg .	UD.	6,00	240,00	1.440,00
3.2	TUBOS DE PVC C/ JUNTA SOLDÁVEL				
3.2.1	Tubo PVC JS DN 50	M.	12,00	5,50	66,00
3.2.2	Tubo PVC JS DN 75	M.	3,00	12,00	36,00
3.3	ACESSÓRIOS DE ENTRADA				
3.3.1	Adaptador soldável com anel (flange) para caixa d´água 50mm x 2" (DN 50)	UD.	6,00	22,90	137,40
3.3.2	Bucha de redução soldável curta DN 85 x 75	UD.	6,00	12,00	72,00
3.3.3	Bucha de redução soldável longa DN 75 x 50	UD.	6,00	12,00	72,00
3.3.4	Registro de esfera soldável 2" (DN 50)	UD.	6,00	35,00	210,00
3.3.5	Bola flutuante para obturar a entrada da caixa d´água DN 75	UD.	6,00	20,00	120,00
3.3.6	Tê de redução soldável PVC BBB DN 75 X 50	UD.	6,00	30,00	180,00
3.4	EXTRAVASOR + LIMPEZA				
3.4.1	Adaptadores soldáveis com anel (flange) para caixa d´água 40 mm x 1½" (DN 32)	UD.	6,00	22,90	137,40
3.4.2	Joelho 90° soldável 32mm	UD.	6,00	2,00	12,00
TOTAL DO SISTEMA FIRST-FLUSH				R\$ 2.482,80	
4	RECALQUE ATÉ O RESERVATÓRIO				
4.2	LINHAS DE RECALQUE (DN 32)				
4.2.1	Adaptador PVC Ponta e Rosca DN 32	UD.	2,00	10,00	20,00
4.2.2	Válvula de retenção roscável DN 32	UD.	2,00	20,00	40,00
4.2.3	Luva de redução PVC JR DN 25 x DN 32	UD.	2,00	21,00	42,00
4.2.4	Luva de correr PVC JS DN 32	UD.	4,00	10,00	40,00
4.2.5	C45o PVC JS DN 32	UD.	10,00	2,20	22,00
4.2.6	Joelho 90° PVC JS DN 32	UD.	10,00	2,00	20,00
4.2.7	Abraçadeira tipo omega em aço galv. d= 1½"	UD.	60,00	1,50	90,00
4.2.8	Tubo PVC JS DN 32 (1½")	M.	300,00	2,50	750,00
4.2.9	Registro de esfera soldável 1½" (DN 32)	UD.	2,00	23,00	46,00
TOTAL DO RECALQUE				R\$ 1.070,00	

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS					
ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE					
PROJETO:	SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA				
	SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 100% (CENÁRIO 100%)				
LOCAL:	ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA)				
Base dos Preços : Julho/ 2014					
ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
5	TRATAMENTO NO PONTO FINAL DE USO				
5.1	LÂMPADA DE DESINFECÇÃO UV ANTES DA DISTRIBUIÇÃO EM COPAS E BEBEDOUROS				
5.1.1	Lâmpada UV esterilizadora bivolt até 18 W Vazão mínima 0,1 l/s (bebedouro)	UD.	14,00	380,00	5.320,00
5.1.2	Lâmpada UV esterilizadora bivolt 18 - 24 W Vazão mínima 0,2 l/s (copa)	UD.	6,00	850,00	5.100,00
5.1.3	Lâmpada UV esterilizadora bivolt 24 - 60 W Vazão mínima 0,5 l/s (copas e cantina)	UD.	2,00	1.475,00	2.950,00
5.2	FILTROS DOMÉSTICOS COM MATERIAL FILTRANTE DESCARTÁVEL, SEM NECESSIDADE DE RETROLAVAGEM. FILTROS NA DISTRIBUIÇÃO				
5.2.1	Filtro 3/4" Flux para entrada de Caixa D´Água, posição horizontal. Pressão de Operação: 60mca máx / 2mca mín. Recambio do elemento filtrante a cada 6 meses.	UD.	25,00	117,00	2.925,00
TOTAL DO TRATAMENTO NOS PONTOS DE CONSUMO				R\$ 16.295,00	
6	SISTEMA DE TRATAMENTO AUTOMÁTICO (BOMBA DOSADORA DE CLORO + FILTRO)				
6.3	ETAC - Estação de Tratamento de Água de Chuva				
6.3.1	Unidade composta por bomba dosadora de cloro, filtro, controle e bomba que recalca 5 m3/h até o reservatório superior	UD.	2,00	9.980,00	19.960,00
6.3.2	Material elétrico auxiliar	UD.	2,00	150,00	300,00
TOTAL DO SISTEMA DE TRATAMENTO AUTOMÁTICO				R\$ 20.260,00	
TOTAL MATERIAIS (R\$)				51.656,04	

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE OBRAS					
ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE					
PROJETO:	SISTEMA DE CAPTAÇÃO, RESERVA E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA				
	SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE 100% (CENÁRIO 100%)				
LOCAL:	ESCOLA POLITÉCNICA DE SALVADOR (BAHIA)				
Base dos Preços : Julho/ 2014					
ITEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
				UNITÁRIO	TOTAL
1	SERVIÇOS DE OBRA CIVIL				
1.1	ELEVAÇÃO DA ALTURA DO TELHADO - ADEQUAÇÃO DO LOCAL PARA ABRIGO DAS ETACS				
1.1.1	Serviço de pedreiro para desmontagem e posterior montagem de cobertura	M2	60,00	7,00	420,00
1.1.2	Eventual substituição de telhas quebradas (material e serviço de pedreiro)	M2	30,00	16,00	480,00
1.1.3	Obra de alvenaria para suporte da cobertura (material e serviço de pedreiro)	M	84,00	9,00	756,00
1.1.4	Re-aplicação de impermeabilizante (material e serviço de pedreiro)	M2	9,00	25,00	225,00
TOTAL DA OBRA CIVIL				R\$ 1.881,00	
2	SERVIÇOS DE MONTAGEM HIDRÁULICA E ELÉTRICA				
2.1	TRANSPORTE, MONTAGEM E ASSENTAMENTO DAS CAIXAS DE ÁGUA				
2.1.1	Frete de uma caixa de água PVC de 1 a 3 m3 (distância=15 km)	UD.	5,00	50,00	250,00
2.1.2	Serviço de pedreiro para descarga, transporte e assentamento no local	UD.	5,00	400,00	2.000,00
2.2	TRANSPORTE E MONTAGEM DE MATERIAL HIDRÁULICO				
2.2.1	Frete do material (tubos e conexões) até o local (distância=15 km)	KG.	200,00	0,50	100,00
2.2.2	Serviço de pedreiro para descarga, transporte e assentamento no local	KG.	200,00	2,00	400,00
2.2.3	Diária de ENCANADOR (bombeiro hidráulico) para montagem de tubos e conexões em PVC soldável DN 20 a 50 mm	D	5,00	70,00	350,00
2.2.4	Diária de AUXILIAR DE ENCANADOR para montagem de tubos e conexões em PVC soldável DN 20 a 50 mm	D	5,00	35,00	175,00
2.3	TRANSPORTE E MONTAGEM DAS ETACS				
2.3.1	Frete de uma ETAC (distância=500 km)	UD.	2,00	50,00	100,00
2.3.2	Serviço de pedreiro para descarga, transporte e assentamento no local	UD.	2,00	0,00	0,00
2.4	FIAÇÃO, DISJUNTORES E CONEXÕES DAS ETACS				
2.4.1	Serviços de TÉCNICO ELETRICISTA	H	10,00	40,00	400,00
2.5	INSTALAÇÃO DE LÂMPADAS Uvs				
2.5.1	Serviços de TÉCNICO ELETRICISTA	H	11,00	40,00	440,00
TOTAL DA MONTAGEM HIDRÁULICA E ELÉTRICA				R\$ 4.215,00	
TOTAL SERVIÇOS (R\$)				6.096,00	

REFERÊNCIAS

Abbasi T, Abbasi SA (2011) Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 41(23): 2097-2167, <http://dx.doi.org/10.1080/10643389.2010.497438>

Abbott S, Caughley B, Douwes, J (2007b) The microbiological quality of roof-collected rainwater of private dwellings in New Zealand, *Rainwater and Urban Design*, Engineers Australia, 2007:9-16. Disponível em:
<http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=885521567814046;res=IELENG>

Abbott S, Caughley B, Ward A, Gowan G, Ashworth J (2007a) An evaluation of measures for improving the quality of roof-collected rainwater, *Rainwater and Urban Design*, Engineers Australia, 2007:1-8. Disponível em:
<http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=885447035929013;res=IELENG>

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998). NBR 5626: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989

Achadu OJ, Ako FE, Dalla CL (2013) Quality assessment of stored harvested rainwater in

Wukari, North-Eastern Nigeria: impact of storage media, IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology 7(5):25-32, <http://dx.doi.org/10.9790/2402-0752532>

Adler I, Hudson-Edwards K A, Campos LC (2011) Converting rain into drinking water: quality issues and technological advances, Water Science and Technology 11(6):659–667, <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2011.117>

Aguapura ViaNet (2013). Base de dados on-line do consumo de água das unidades da UFBA. Programa Aguapura: Uso Racional de Água e Energia na UFBA. TECLIM – Rede de Tecnologias Limpas da Bahia. Universidade Federal da Bahia.

Disponível em: <http://teclim.ufba.br/aguapura/>

Ahammed MM, Dave S, Nair AT (2014) Effect of water quality parameters on solar water disinfection: a statistical experiment design approach, Desalination and Water Treatment, <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2014.940398>

Ahmed W, Gardner T, Toze S (2011) Microbiological Quality of roof-harvested rainwater and health risks: a review, Journal of Environmental Quality 40:13–21, <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2010.0345>

Ahmed W, Goonetilleke A, Gardner T (2010) Implications of faecal indicator bacteria for the microbiological assessment of roof-harvested rainwater quality in southeast Queensland, Australia, Canadian Journal of Microbiology, 2010, 56(6): 471-479, <http://dx.doi.org/10.1139/W10-037>

Ahmed W, Hodgers L, Sidhu JPS, Toze S (2012) Fecal indicators and zoonotic pathogens in household drinking water taps fed from rainwater tanks in Southeast Queensland, Australia, Appl. Environ. Microbiol. 78(1):219-226. Disponível em: <http://aem.asm.org/content/78/1/219>

Ahmed W, Sidhu JPS, Toze S (2012) An attempt to identify the likely sources of Escherichia coli harboring toxin genes in rainwater tanks, Environmental Science & Technology 46 (9):5193-5197,

<http://dx.doi.org/10.1021/es300292y>

Ahmed W, Vieritz A, Gardner T, Goonetilleke A (2009) Microbial risks from rainwater tanks In South East Queensland, Water 36:80-85, Disponível em:

http://s3.amazonaws.com/publicationslist.org/data/w.ahmed/ref-32/Water%20Dec%2009_Ahmed1.pdf

Ahmed,W, Vieritz A, Goonetilleke A, Gardner T (2010) Health Risk from the use of roof-harvested rainwater in Southeast Queensland, Australia, as potable or nonpotable water, determined using quantitative microbial risk assessment, Appl Environ Microbiol. 76(22): 7382–7391, <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.00944-10>

Aikawa M, Kajinoc M, Hirakib T, MukaiaH (2014) The contribution of site to washout and rainout: Precipitation chemistry based on sample analysis from 0.5 mm precipitation increments and numerical simulation, Atmospheric Environment 95:165–174, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.06.015>

Ali K, Momin GA, Tiwari S, Safai PD, Chate DM, Rao PSP (2004) Fog and precipitation chemistry at Delhi, North India, Atmospheric Environment 38(25):4215-4222, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.02.055>

Alliance to Save Energy – Aliança para Conservação de Energia (2012). “Água e Energia: aproveitando as oportunidades de efficientização de água e energia não exploradas nos sistemas de água municipais”, publicado e traduzido para o português pela USAID (Agência Americana para Desenvolvimento). Disponível em: http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/livros/agua_energia/aguaeenergia.pdf

Amin MT, Alazba AA, Amin MN, Han MY (2014a) Cost-effective and sustainable solutions to enhance the solar disinfection efficiency improving the microbiological quality of rooftop-harvested rainwater, Desalination and Water Treatment 52(28-30):5252-5263, <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2013.808591>

Amin MT, Nawaz M, Amin MN, Han M (2014b) Solar disinfection of pseudomonas aeruginosa in harvested rainwater: a step towards potability of rainwater, PLoS ONE 9(3): e90743, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0090743>

Amin MT, Tschung-il K, Amin MN, Han MY (2013) Effects of catchment, first-flush, storage conditions, and time on microbial quality in rainwater harvesting systems, Water Environment Research 85(12) :2317-2329(13), <http://dx.doi.org/10.2175/106143013X13706200598433>

Amodio M, Catino S, Dambruoso PR, de Gennaro G, Di Gilio A, Giungato P, Laiola E, Marzocca A, Mazzone A, Sardaro A, Tutino M (2014) Atmospheric deposition: sampling procedures, analytical methods, and main recent findings from the scientific literature, Advances in Meteorology vol 2014, article ID 161730, 27 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/161730>

Amorim SV, Pereira DJA (2008) Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial, Ambiente Construído, Porto Alegre, Vol 8(2):53-66

ANA – Agência Nacional de Água (2012). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2012. Disponível em:
<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/Conjuntura2012.pdf>

Anneccchini KV, Fernandes BC, Ernandes D, Gonçalves RG (2006) Dimensionamento de Reservatório de Água de Chuva para Uso Não Potável em Edificações na Cidade de Vitoria (ES), VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Fortaleza (CE)

Appan A (1997) Roof water collection systems in some Southeast Asian countries: status and water quality levels, Perspectives in Public Health October 117(5):319-323, <http://dx.doi.org/10.1177/146642409711700510>

Arimoto, R., Duce, R.A., Ray, B.J., Hewitt, A.D., Williams, J. (1987) Trace elements in the

atmosphere of American Samoa: concentrations and deposition to the tropical South Pacific, *Journal of Geophysical Research* 92:8465-8479, <http://dx.doi.org/10.1029/JD092iD07p08465>

Ashbolt NJ, Kirk MD (2006) Salmonella Mississippi infections in Tasmania: the role of native Australian animals and untreated drinking water, *Epidemiology and Infection*, 134(6):1257-1265, <http://dx.doi.org/10.1017/S0950268806006224>

Atlas E, Giam CS (1988) Ambient concentration and precipitation scavenging of atmospheric organic pollutants, *Water, Air, and Soil Pollution* 38(1-2):19-36, <http://dx.doi.org/10.1007/BF00279583>

Avery Jr. GB, Tang Y, Kieber RJ, Willey JD (2001) Impact of recent urbanization on formic and acetic acid concentrations in coastal North Carolina rainwater, *Atmospheric Environment* 35(19):3353-3359, [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00328-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00328-9)

BAHIA. Governo do Estado da Bahia – Casa Civil (2013). “Governo anuncia medidas emergência para municípios atingidos pela seca” e “Estado intensifica ações de combate aos efeitos da seca na Bahia”. Disponível em <http://www.casacivil.ba.gov.br/>

BAHIA. Governo do Estado da Bahia – SEI – Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, Mapa de Pluviometria do Estado da Bahia, 2003. Disponível em: http://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=94

Balla D, Papageorgiou A, Voutsas D (2014) Carbonyl compounds and dissolved organic carbon in rainwater of an urban atmosphere, *Environmental Science and Pollution Research* Jun 2014, <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-014-3080-8>

Berndtsson JC, Bengtsson L, Jinno K (2009) Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs, *Ecological Engineering* 35(3): 369-380,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.09.020>

Bertrand-Krajewski JL, Chebbo G, Saget A (1998) Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon, *Water Research* 32(8):2341-2356, [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00420-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00420-X)

Beysens D, Ohayon C, Muselli M, Clus O (2006) Chemical and biological characteristics of dew and rain water in an urban coastal area (Bordeaux, France), *Atmospheric Environment* 40(20):3710-3723, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.007>

Bezerra SM da C, Christan P de, Teixeira CA, Farahbakhsh K (2010) Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR, *Ambiente Construído*, Porto Alegre, Vol. 10(4):219-231

BRASIL. Ministério da Integração, Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional – Grupo de Trabalho Interministerial. “Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro”, 2005.

BRASIL.Tancredo JL, Projeto de Lei PL 95/2006. Câmara Municipal de Tubarão – SC, 2006.

BRASIL. Collaço FL, Projeto de Lei PL 12/2008. Câmara Municipal de Tubarão - SC, 2008.

BRASIL. Martins PS, Projeto de Lei PL 10.251/2009. Câmara Municipal de Jundiaí - SP, 2009.

BRASIL. Almeida FR, Projeto de Lei PL 7849/2010, Câmara dos Deputados - SP, 2010.
Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=485912>

Bridges KS, Jickells TD, Davies TD, Zeman Z, Hunova I (2002) Aerosol, precipitation and cloud water chemistry observations on the Czech Krusne Hory plateau adjacent to a heavily industrialized valley, *Atmospheric Environment* 36(2):353-360, <http://dx.doi.org/10.1016/S1352->

2310(01)00388-0

Broadhead AN, Negron-Alvira A, Baez A, Hazen TC, Canoy MJ (1998) Occurrence of Legionella species in tropical rainwater cisterns, Caribbean Journal of Science, 24:71-73. Disponível em:
http://www.researchgate.net/publication/233784096_Occurrence_of_Legionella_Species_In_Tropical_Rain_Water_Cisterns

Bucheli TD, Müller SR, Heberle S, Schwarzenbach RP (1998a) Occurrence and behavior of pesticides in rainwater, roof runoff, and artificial stormwater infiltration, Environ. Sci. Technol. 32(22):3457–3464, <http://dx.doi.org/10.1021/es980317n>

Bucheli TD, Müller SR, Voegelin A, Schwarzenbach RP (1998b) Bituminous roof sealing membranes as major sources of the herbicide (R,S)-Mecoprop in roof runoff waters: potential contamination of groundwater and surface waters, Environ. Sci. Technol. 32(22):3465–3471, <http://dx.doi.org/10.1021/es980318f>

Caixa Econômica Federal. “Boas práticas para habitação mais sustentável”. Páginas & Letras - Editora e Gráfica, ISBN 978-85-86508-78-3, 2010

Casado H, Encinas D, Lacaux JP (1996) Relationship between the atmospheric particulate fraction and the ionic content of precipitation in an area under influence of a waste incinerator located in the Basque country (Spain), Atmospheric Environment 30(10–11):1537-1542, [http://dx.doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00469-6](http://dx.doi.org/10.1016/1352-2310(95)00469-6)

Chang M, McBroom MW, Beasley RS (2004) Roofing as a source of nonpoint water pollution, Journal of Environmental Management 73(4):307-315, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.06.014>

Charlson RJ, Rodhe H (1982) Factors controlling the acidity of natural rainwater, Nature

295:683-685, <http://dx.doi.org/10.1038/295683a0>

Chatterjee J, Singh SK (2012) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and major ion composition of rainwater of Ahmedabad, India: Sources of base cations, *Atmospheric Environment* 63:60-67, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.08.060>

Chester R, Nimmo M, Corcoran PA (1997) Rain water-aerosol trace metal relationships at Cap Ferrat; a coastal site in the Western Mediterranean, *Marine Chemistry* 58(3-4):293–312, [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4203\(97\)00056-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4203(97)00056-X)

Cizmecioglu SC, Muezzinoglu A (2008) Solubility of deposited airborne heavy metals, *Atmospheric Research* 89(4):396-404, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.03.012>

CMS. Jambeiro J, Projeto de Lei PL 66/2009, Câmara Municipal de Salvador - BA. Ordem do dia 05 de Abril de 2010. Disponível em: <http://www.cms.ba.gov.br/upordem>

CMS – Câmara Municipal de Salvador (2013). “Lei do IPTU Verde é sancionada - Notícias (07/10/2013)”. Disponível em: <http://www.cms.ba.gov.br/>

COELBA – Companhia Elétrica da Bahia (2013). Tabela de Tarifa e Preço Final da Energia Elétrica, válida pela Resolução 1.511 de 16/04/2013

Cohim E, Kiperstok A, Garcia A (2008) Captação e Aproveitamento de Água de Chuva: Dimensionamento de Reservatórios. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 25 a 28 Novembro de 2008, Salvador (BA)

Coombes P, Kuczera G, Kalma J, Dunstan HR (2000) Rainwater quality from roofs, tanks and hot water systems at Figtree Place, In: *Hydro 2000: Interactive Hydrology; Proceedings*. Barton, A.C.T.: Institution of Engineers, Australia, 2000:1042-1047, National conference publication

(Institution of Engineers, Australia) no. 2000, <http://hdl.handle.net/1959.13/29532>

Disponível em:

<http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=584846997276268;res=IELENG>> ISBN: 0957824114

CORESAB – Comissão de Regulação dos Serviços Públicos de Saneamento Básico do Estado da Bahia. “Resolução Nº 002/2012 de 30 de março de 2012”, 2013.

Crabtree KD, Ruskin RH, Shaw SB, Rose JB (1996) The detection of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in cistern water in the U.S. Virgin Islands, *Water Research* 30(1):208-216, [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(95\)00100-Y](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(95)00100-Y)

Creder H. (2006). “Instalações Hidráulicas e Sanitárias”. ISBN 8521614896. Editora LTC, 6ª edição, 440 p.

CTA – Comissão Técnica ANQUIP 0701. ETA 0701 - Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Edifícios. Norma técnica portuguesa, 23 p., 2009.

Czeczuga B, Orłowska M (1997) Hyphomycetes fungi in rainwater falling from building roofs, *Mycoscience* 38(4):447-450, <http://dx.doi.org/10.1007/BF02461687>

Daoud AK, Swaileh KM, Hussein RM, Matani M (2011) Quality assessment of roof-harvested rainwater in the West Bank, Palestinian Authority, *Journal of Water and Health* 9(3):525–533, <http://dx.doi.org/10.2166/wh.2011.148>

Dean J, Hunter PR (2012) Risk of gastrointestinal illness associated with the consumption of rainwater: a systematic review, *Environ Sci Technol.* 46(5):2501-7, <http://dx.doi.org/10.1021/es203351n>

DeJong P, Sánchez AS, Esquerre K, Kalid RA, Torres EA (2013) Solar and wind energy production in relation to the electricity load curve and hydroelectricity in the northeast region of Brazil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23:526-535, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.050>

Deng Y, Zuo Y (1999) Factors affecting the levels of hydrogen peroxide in rainwater, *Atmospheric Environment* 33(9):1469-1478, [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00239-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00239-8).

Despins C, Farahbakhsh K, Leidl C (2009) Assessment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario, Canada, *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA* 58(2):117-134
<http://dx.doi.org/10.2166/aqua.2009.013>

Dillaha III TA, Zolan JZ (1985) Rainwater catchment water quality in Micronesia, *Water Research* 19(6):741-746, [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(85\)90121-6](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(85)90121-6)

DIN – Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão de Normas), Norma Internacional de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais, DIN 1989-1:2001-10, 2001.

Dobrowksy H (2014) Quality assessment of domestic harvested rainwater in the peri-urban region of Kleinmond, Western Cape and the optimization of point-of-use treatment systems, Stellenbosch University, Stellenbosch, South Africa. Disponível em: https://scholar.sun.ac.za/bitstream/handle/10019.1/86278/dobrowsky_quality_2014.pdf?sequence=1

Dobrowsky PH, De Kwaadsteniet M, Cloete TE, Khan W (2014a) Distribution of indigenous bacterial pathogens and potential pathogens associated with roof-harvested rainwater, *Appl. Environ. Microbiol.* 80(7):2307-2316, <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.04130-13>

Dobrowsky PH, Van Deventer A, De Kwaadsteniet M, Ndlovu T, Khan S, Cloete TE, Khan W (2014b) Prevalence of virulence genes associated with pathogenic *Escherichia coli* strains isolated from

domestically harvested rainwater during low- and high-rainfall periods, *Appl. Environ. Microbiol.* 80(5):1633-1638, <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.03061-13>

Dornelles F, Tassi R, Goldenfum JA (2010) Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva, *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos* Vol. 15(2):59-68

DRE – Diário da República (Portugal), (2011). “Resolução da Assembleia da República n.º 10/2011”. *Diário da República*, 1.ª série, N.º 22, 1 de Fevereiro de 2011, p. 654;

Dutra, FA (2007) Aplicação da filtração intermitente em leito de areia e de escória da metalurgia do cobre no tratamento de esgotos com ênfase em reúso. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia

Duncan HP (1995) A review of urban stormwater quality processes, Melbourne, Australia: Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, ISBN 1-876-00606-4

Eberhart-Philips J, Walker N, Garrett N, Bell D, Sinclair D, Rainger W, Bates M (1997) Campylobacteriosis in New Zealand: results of a case-control study, *Journal of Epidemiology and Community Health* 51(6):686-691. Disponível em:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1060567/pdf/jepicomh00180-0076.pdf>

Egodawatta P, Thomas E, Goonetilleke A (2009) Understanding the physical processes of pollutant build-up and wash-off on roof surfaces, *Science of The Total Environment* 407(6):1834-1841, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.027>

EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento, (2013). “Relatório da Administração e Demonstrações Financeiras do ano 2012”;

EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento, (2013). “Tarifas Mensais para Serviços

de Água e Esgoto”;

EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento, (2008). Nota informativa, Sala de Imprensa, Junho de 2008;

EMBASA: RAIC (2011) “Relatório anual para Informação ao Consumidor, SIAA do Município de Salvador”;

EMBASA: TSE – Departamento de Eficiência Energética. “Programa de Eficiência Energética da EMBASA”. AESBE 2013 – Seminário de Gestão do Uso de Energia Elétrica no Saneamento, Rio de Janeiro, 2013.

EPA – Environmental Protection Agency, Governo dos Estados Unidos de América. “Guidelines for water reuse” (Guia para reúso de água). Washington (DC), USA, 1980 e versões revisadas de 1992, 2004 e 2012

Evans CA, Coombes PJ, Dunstan RH, Harrison T (2009) Extensive bacterial diversity indicates the potential operation of a dynamic micro-ecology within domestic rainwater storage systems, *Science of The Total Environment* 407(19):5206-5215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.06.009>

Evans CA, Harrison T, Coombes PJ, Dunstan HR, Dunstan RH (2006) Identifying the major influences on the microbial composition of roof harvested rainwater and the implications for water quality, In: Delectic A, Fletcher, T (Editors). 7th International Conference on Urban Drainage Modelling and the 4th International Conference on Water Sensitive Urban Design; Book of Proceedings, Monash University, 2006:245-252, ISBN 0-646-45903-1

Fang GC, Zheng YC (2014) Diurnal ambient air particles, metallic elements dry deposition, concentrations study during year of 2012–2013 at a traffic site, *Atmospheric Environment* 88:39-46, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.01.055>

Farreny R, Morales-Pinzón T, Guisasola A, Tayà C, Rieradevall J, Gabarrell X (2011) Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain, *Water Research* 45(10):3245-3254, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.03.036>

Fewtrella L, Kay D (2007) Microbial quality of rainwater supplies in developed countries: a review, *Urban Water Journal* 4(4):253-260, <http://dx.doi.org/10.1080/15730620701526097>

Fonseca JE, Carneiro M, Pena JL, Colosimo EA, da Silva NB, da Costa AG, Moreira LE, Cairncross S, Heller L (2014) Reducing occurrence of *Giardia duodenalis* in children living in Semiarid Regions: impact of a large scale rainwater harvesting initiative, *PLoS Negl Trop Dis.* 8(6): e2943, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0002943>

Franklin LJ, Fielding JE, Gregory J, Gullan L, Lightfoot D, Poznanski SY, Vally H (2009) An outbreak of *Salmonella* Typhimurium 9 at a school camp linked to contamination of rainwater tanks, *Epidemiol. Infect.* 137, 434-440, <http://dx.doi.org/10.1017/S095026880800109X>

FREIBURG, Stadtentwässerung - Estatuto de drenagem urbana do município de Freiburg Im Bresgau. 13 de dezembro de 2011. Disponível em:
http://www.esse.freiburg.de/pb/site/freiburg_esse/node/621652/Lde/index.html

Fujioka RS, Inserra SG, Chinn RD (1991) The bacterial content of cistern waters in Hawaii, *Proceedings of the Fifth International Conference on Rain Water Cistern Systems*, Keelung, Taiwan, Section 2: Catchment Water Quality Regulation, pp.33

Ghadaksaz zadeh M, Sekhavatjou MS, Alhashemi AH, Hejabi AT (2014) Transferring of Hg concentration from ambient air to rain water and surface soil in an industrial urban area, *Int. J. Environ. Res* 8(2): 479-482, Disponível em:
http://www.researchgate.net/publication/263236383_Transferring_of_Hg_Concentration_from_Ambient_Air_to_Rain_Water_and_Surface_Soil_in_an_Industrial_urban_Area

Ghisi E, Bressan DL, Martini M (2007) Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil, *Building and Environment* 42(4):1654–1666, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.007>

Ghisi E, Tavares DT, Rocha VL (2009) Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis, *Resources, Conservation and Recycling* 54(2):79–85, <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.resconrec.2009.06.010>

Ghisi E (2010) Parameters Influencing the Sizing of Rainwater Tanks for Use in Houses, *Water Resources Management* 24(10):2381-2403, <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-009-9557-4>

Vieira AS, Beal CD, Ghisi E, Stewart RA (2014) Energy intensity of rainwater harvesting systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 34:225–242, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.012>

Gikas GD, Tsihrintzis VA (2012) Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater, *Journal of Hydrology* 466-467:115 - 126, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.08.020>

Gomes HP (2009) *Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: Análise Econômica de Projetos*, 2ª Edição, Editora Universitária/UFPB, ISBN: 978-85-7745-461-7

Gong K, Wu Q, Peng S, Zhao X, Wang X (2014) Research on the characteristics of the water quality of rainwater runoff from green roofs, *Water Science & Technology* 70(7):1205-1210, <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2014.358>

Gonçalves, O (2008) Gestão de programas de uso racional da água e a redução de vazamentos em redes enterradas, *Hydro* 23:46-51

Google Earth (2013). Google Inc. Base topográfica compatível com Autodesk AutoCad Civil 3D (curvas de nível)

Gordilho-Souza A (2008) Limites do habitar: segregação e exclusão na configuração urbana contemporânea de Salvador e perspectivas no final do século XX. Salvador, EDUFBA, 2ª Edição, ISBN: 978-85-232-0519-5

Götz CW, Scheringer M, MacLeod M, Wegmann F, Hungerbühler K (2008) Regional differences in gas–particle partitioning and deposition of semivolatile organic compounds on a global scale, *Atmospheric Environment* 42(3):554-567, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.08.033>

Green Building Council Brasil (2009) LEED para Prédios Existentes: Operação e Manutenção - 2009. Pontuação do projeto

Gribbin, John E. (2008). “Introduction to Hidraulics and Hidrology with Applications for Stormwater Management”. ISBN 978-85-221-0635-6. Edição em português: “Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais” (2012). Editora Cengage Learning

Gromaire-Mertz MC, Garnaud S, Gonzalez A, Chebbo G (1999) Characterisation of urban runoff pollution in Paris, *Water Science and Technology* 39(2):1-8, [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00002-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00002-5)

Grothe LE (2006) Avaliação das Distorções Harmônicas e Fator de Potência da ETE Barueri, São Paulo. Trabalho apresentado na FENASAN XVII – FERIA Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, 8 a 10 Agosto de 2006, São Paulo

Gunawardena J, Egodawatta P, Ayoko GA, Ashantha Goonetilleke A (2012) Role of traffic in atmospheric accumulation of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons, *Atmospheric Environment* 54:502-510, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.02.058>

Gunawardena J, Egodawatta P, Ayoko GA, Goonetilleke A (2013) Atmospheric deposition as a source of heavy metals in urban stormwater, *Atmospheric Environment*, Volume 68: 235-242, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.11.062>

Gupta K, Saul AJ (1996) Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows, *Water Research* 30(5):1244-1252, [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(95\)00282-0](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(95)00282-0)

Ha SA, Kim IS, Son KS, Wang JP (2013) Development of Rainwater Purification and Reclaimed Water Treatment Systems Using a High-Efficiency Air-Cooled Ozone Generator, *Applied Mechanics and Materials* 423-426:1383-1387, <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.423-426.1383>

Haeber RH, Waller DH (1987) Water quality of rain water collection systems in the Eastern Caribbean, *Proceedings of the 3rd International Rainwater Collection System Association Conference*. Section F: Water Quality, Khon Kaen, Thailand.

Halstead MJR, Cunninghame RG, Hunter KA (2000) Wet deposition of trace metals to a remote site in Fiordland, New Zealand, *Atmospheric Environment* 34(4):665-676, [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00185-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00185-5)

Handia L (2005) Comparative study of rainwater quality in urban Zambia, *Journal of water Supply Research Technology AQUA* 54: 55-64

Hart C. White D (2006) Water quality and construction materials in rainwater catchments across Alaska, *Journal of Environmental Engineering and Science* 5(1):S19-S25, <http://dx.doi.org/10.1139/s05-026>

Hernandes AT, Vieira SA (2005) Rainwater quality assessment in a one-family building in the Southeast of Brazil, *Proceedings of the 12th International Rainwater Catchment Systems Conference*:

Mainstreaming Rainwater Harvesting, New Delhi, India, Rainwater quality, sanitation and hygiene aspects, Disponível em: <http://public.balanceco2.com/WaterCatchment/pdf/files/Theme%20-%205%20Part%201/Hernandes-Andre.pdf>

Heyworth JS, Glonek G, Maynard EJ, Baghurst PA, Finlay-Jones J (2006) Consumption of untreated tank rainwater and gastroenteritis among young children in South Australia, *International Journal of Epidemiology* 35(4):1051-1058, <http://dx.doi.org/10.1093/ije/dyl105>

Heyworth JS, Rowe T (2005) Consumption of tank rainwater and influence of recent rainfall on the risk of gastroenteritis among young children in rural South Australia, *Proceedings of the 12th International Rainwater Catchment Systems Conference, Mainstreaming Rainwater Harvesting, Rainwater quality, sanitation and hygiene aspects, New Delhi, India*. Disponível em: <http://www.ctahr.hawaii.edu/hawaiirain/Library/papers/Heyworth-Jane.pdf>

Hontoria C, Saa A, Almorox J, Cuadra L, Sánchez A, Gascó JM (2003) The chemical composition of precipitation in Madrid, *Water, Air, and Soil Pollution* 146(1-4):35-54, <http://dx.doi.org/10.1023/A:1023964610330>

Huston R, Chan YC, Chapman H, Gardner T, Shaw G (2012) Source apportionment of heavy metals and ionic contaminants in rainwater tanks in a subtropical urban area in Australia, *Water Research* 46:1121-1132, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.008>

Huston R, Chan YC, Gardner T, Shaw G, Chapman H (2009) Characterisation of atmospheric deposition as a source of contaminants in urban rainwater tanks, *Water Research* 43(6):1630-1640, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.045>

Imteaz MA, Shanableh A, Rahman A, Ahsan A (2011) Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia, *Resources, Conservation and Recycling* 55(11):1022– 1029, <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.013>

Imteaz MA, Ahsan A, Naser J, Rahman A (2011) Reliability analysis of rainwater tanks in Melbourne using daily water balance model, *Resources, Conservation and Recycling* 56(1):80–86, <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.008>

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2013). BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>

INSA – Instituto Nacional do Semiárido (2011). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro. Campina Grande, PB, 2011. ISBN: 978-85-64265-02-8

Jordan FL, Seamana R, Riley JJ, Yoklic MR (2008) Effective removal of microbial contamination from harvested rainwater using a simple point of use filtration and UV-disinfection device, *Urban Water Journal* 5 (3):209-218, <http://dx.doi.org/10.1080/15730620801977174>

Junge CE, Werby RT (1958) The concentration of chloride, sodium, potassium, calcium, and sulfate in rain water over the united states. *J. Meteor.* 15:417–425, [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1958\)015<0417:TCOCSP>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1958)015<0417:TCOCSP>2.0.CO;2)

Kabir MI, Daly E, Maggi F (2014) A review of ion and metal pollutants in urban green water infrastructures, *Science of The Total Environment* 470–471:695-706, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.010>

Kalid R, Kiperstock A, Quadros AS (2010). “Sistema de apoio gestão da demanda e uso racional da água em edificações públicas: AGUAPURA ViaNet”. TECLIM - Rede de Tecnologias Limpas da Bahia. Disponível em: http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art127.pdf

Kaushik R, Balasubramanian R, Dunstan H (2014) Microbial quality and phylogenetic

diversity of fresh rainwater and tropical freshwater reservoir, PLoS ONE 9(6): e100737, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0100737>

Khastagir A, Jayasuriya N (2010) Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation, Journal of Hydrology 381(3-4):181–188, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.040>

Kieber RJ, Peake B, Willey JD, Avery GB (2002) Dissolved organic carbon and organic acids in coastal New Zealand rainwater, Atmospheric Environment 36(21):3557-3563, [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00273-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00273-X)

Kim RH, Lee S, Kim YM, Lee JH, Kim SK, Kim SG (2005) Pollutants in Rainwater Runoff in Korea: Their Impacts on Rainwater Utilization, Environmental Technology 26(4):411-420, <http://dx.doi.org/10.1080/09593332608618546>

King TL, Bedient PB (1982) Effect of acid rain upon cistern water quality, 1st International Conference on Rain Water Cistern Systems, Honolulu, Hawaii, USA, Section 4: Water Quality, pp. 244

Koplan JP, Deen RD, Swanston WH, Tota B (1978) Contaminated roof-collected rainwater as a possible cause of an outbreak of salmonellosis, Journal of Hygiene 81:303-309, <http://dx.doi.org/10.1017/S0022172400025146>

Kus B, Kandasamy J, Vigneswaran S, Shon HK (2010) Analysis of first flush to improve the water quality in rainwater tanks, Water Science & Technology 61(2):421–428, <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2010.823>

Kwaadsteniet Mde, Dobrowsky PH, van Deventer A, Khan W, Cloete TE (2013) Domestic Rainwater Harvesting: Microbial and Chemical Water Quality and Point-of-Use Treatment Systems, Water, Air, & Soil Pollution 224:1629, <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-013-1629-7>

Kwok KY, Taniyasu S, Yeung LY, Murphy MB, Lam PS, Horii Y, Kannan K, Petrick G, Sinha RK, Yamashita N (2010) Flux of Perfluorinated Chemicals through wet deposition in Japan, the United States, and several other countries, *Environmental Science & Technology* 44 (18): <http://dx.doi.org/7043-7049>, 10.1021/es101170c

Lacerda, N (2010). “Estudo de detecção de mudanças climáticas sobre Pernambuco”. Laboratório de Meteorologia de Pernambuco-LAMEPE e Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

Laguna A, Cordeiro, JS (2005) Utilização de Indicadores de Desempenho para Gerenciamento de Sistemas de Tratamento de Água, 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 18 a 23 de Setembro de 2005, Campo Grande (MS)

Lee JH, Bang KW, Ketchum Jr. LH, Choe JS, Yu MY (2002) First flush analysis of urban storm runoff, *Science of The Total Environment* 293(1–3):163-175, [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00006-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00006-2)

Lee JY, Bak G, Han M (2012) Quality of roof-harvested rainwater – Comparison of different roofing materials, *Environmental Pollution* 162:422-429, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.005>

Lee KT, Lee CD, Yang MS, Yu CC (2000) Probabilistic Design of Storage Capacity for Rainwater Cistern Systems, *Journal of Agricultural and Engineering Research* 77(3):343-348, <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.2000.0597>

Lee H, Lau SL, Kayhanian M, Stenstrom MK (2004) Seasonal first flush phenomenon of urban stormwater discharges, *Water Research* 38(19):4153-4163, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2004.07.012>

Lee JY, Yang JS, Han M, Choi J (2010) Comparison of the microbiological and chemical

characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources, *Science of The Total Environment* 408(4):896-905, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.11.001>

Lim KY, Jiang SC (2013) Reevaluation of health risk benchmark for sustainable water practice through risk analysis of rooftop-harvested rainwater, *Water Research* 47(20):7273-7286, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.059>

Liu H, Daisuke K, Motokiyo M, Hirao S, Moriizumi J, Yamazawa H (2014) On the characteristics of the wet deposition process using radon as a tracer gas, *Radiat Prot Dosimetry* 160 (1-3): 83-86, <http://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncu093>

Loewen M, Halldorson T, Wang F, Tomy G (2005) Fluorotelomer Carboxylic Acids and PFOS in rainwater from an urban center in Canada, *Environmental Science & Technology* 39(9):2944-2951, <http://dx.doi.org/10.1021/es048635b>

Lopes GB (2012) Estudo de Viabilidade Técnica do Aproveitamento de Água de Chuva para Fins Não Potáveis na Universidade Federal de Uberlândia (MG). Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia.

Lopez J (2014) Progress in large-scale ozone generation using microplasmas, *Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma*, 82:427-453, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-05437-7_13

Lye DJ (1987) Bacterial levels in cistern water systems of northern Kentucky. *Water Resources Bulletin*, 23(6):1063-1068, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.1987.tb00856.x>

Lye, DJ (1992) Microbiology of rainwater cistern systems: a review, *Journal of Environmental Science and Health Part A-toxic/hazardous Substances & Environmental Engineering* 27(8):2123-2166, <http://dx.doi.org/10.1080/10934529209375845>

Lye, DJ (1998) Current status and best management practices for American catchment systems, Proceedings, Water Resources and the Urban Environment, American Society of Civil Engineers, 25th Annual Conference on Water Resources Planning and Management, Chicago, Illinois, pp. 763-768, ISBN 978-0-7844-0343-3 / 0-7844-0343-0 (print)

Lye DJ (2002) Health risks associated with consumption of untreated water from household roof catchment systems. *Journal of the American Water Resources Association* 38(5):1301-1306, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.2002.tb04349.x>

Lye DJ (2009) Rooftop runoff as a source of contamination: A review, *Science of The Total Environment* 407(21):5429-5434, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.07.011>

Machado AS, Conceição DS, Viaro V, Kiperstok A (2010) Caracterização e Perfil de Consumo de Água de um Sanitário Masculino da EP-UFBA, I COBESA - Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Salvador, 2010

Magyar MI, Ladson AR, Diaper C, Mitchell VG, (2014) Influence of roofing materials and lead flashing on rainwater tank contamination by metals, *Australian Journal of Water Resources* 18(1):71-84. Disponível em: <http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=337601989861933;res=IELENG>

Man-van der Vliet H (2014) Best urban water management practices to prevent waterborne infectious diseases under current and future scenarios, Thesis Utrecht University, ISBN 978-94-6182-418-9

Marcynuk PB, Flint JA, Sargeant JM, Jones-Bitton A, Brito AM, Luna CF, Szilassy E, Thomas MK, Lapa TM, Perez E, Costa AM (2013) Comparison of the burden of diarrhoeal illness among individuals with and without household cisterns in northeast Brazil, *BMC Infect Dis.*13:65, <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2334-13-65>

Mariappan T, Srinivasan R, Jambulingam P (2008) Defective rainwater harvesting structure and dengue vector productivity compared with peridomestic habitats in a coastal town in southern India, *Journal of Medical Entomology* 45(1):148-156, [http://dx.doi.org/10.1603/0022-2585\(2008\)45\[148:DRHSAD\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1603/0022-2585(2008)45[148:DRHSAD]2.0.CO;2)

Marle L, Greenway GM (2005) Determination of hydrogen peroxide in rainwater in a miniaturised analytical system, *Analytica Chimica Acta* 548(1–2):20-25, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2005.05.065>

Martins RSL, Abessa DMS, Fornaro A, Borrelly SI (2014) Rainwater toxicity and contamination study from São Paulo Metropolitan Region, Brazil, *Environmental Monitoring and Assessment* 186(2):1183-1194, <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-013-3448-0>

Martinson DB, Thomas T (2005) Quantifying the first flush phenomenon 12th International Rainwater Catchment Systems Conference, New Delhi, India, Disponível em: http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/civil/crg/dtu-old/pubs/reviewed/rwh/dbm_tht_ircsa_2005b/martinson-brett_first-flush.pdf

McIntyre AJ (2010) “Instalações Hidráulicas - Prediais e Industriais”. ISBN 8521616570. Editora LTC, 4ª edição, 596 p.

Mierzwa JC, Hespanhol I, Cabral da Silva MC, Rodrigues LDB (2007) Águas Pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado, *REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina* 4(1):29-37.

Moreira Neto RF, Calijuri ML, Carvalho IC, Santiago AF (2012) Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: Efficiency and costs, *Resources, Conservation and Recycling* 65:124-129, <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.001>

Morselli L, Olivieri P, Brusori B, Passarini F (2003) Soluble and insoluble fractions of heavy metals in wet and dry atmospheric depositions in Bologna, Italy, *Environmental Pollution* 124(3):457-469,

[http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00013-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00013-7)

Moruzzi R B, Oliveira SC (2010) Aplicação de programa computacional no dimensionamento de volume de reservatório para sistema de aproveitamento de água pluvial da cidade de Ponta Grossa, PR, *Revista de Engenharia e Tecnologia* 2(1):36-48

McLachlan MS, Sellström U (2009) Precipitation scavenging of particle-bound contaminants – A case study of PCDD/Fs, *Atmospheric Environment* 43(38):6084-6090, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.037>

Mendez CB, Klenzendorf JB, Afshar BR, Simmons MT, Barrett ME, Kinney KA, Kirisits MJ (2011) The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater, *Water Research* 45(5):2049-2059, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.12.015>

Merritt A, Miles R, Bates J (1999) An outbreak of *Campylobacter* enteritis on an island resort, north Queensland. *Commun Dis Intell*, 23:215–19. Disponível em: [https://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/cda-cdi2308-pdf-cnt.htm/\\$FILE/cdi2308b.pdf](https://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/cda-cdi2308-pdf-cnt.htm/$FILE/cdi2308b.pdf)

Moreda-Piñeiro J, Alonso-Rodríguez E, Moscoso-Pérez C, Blanco-Heras G, Turnes-Carou I, López-Mahía P, Muniategui-Lorenzo S, Prada-Rodríguez D (2014) Influence of marine, terrestrial and anthropogenic sources on ionic and metallic composition of rainwater at a suburban site (northwest coast of Spain), *Atmospheric Environment* 88:30-38, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.01.067>

Morrow AC, Dunstan RH, Coombes PJ (2010) Elemental composition at different points of the rainwater harvesting system, *Science of The Total Environment* 408(20):4542-4548,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.002>

Nakagawa AK (2009) Caracterização do consumo de água em prédios universitários: o caso da UFBA, Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia

Nawaz M, Amin MT, Han M, Alazba AA, Manzoor U, Amin MN (2014), Variation of pseudomonas aeruginosa in rainwater harvesting systems: effects of seasons, catchments and storage conditions, Clean Soil Air Water 42:893–900, <http://dx.doi.org/10.1002/clen.201300267>

Nicholson N, Clark SE, Long BV, Spicher J, Steele KA (2009) Rainwater harvesting for non-potable use in gardens: a comparison of runoff water quality from green vs. traditional roofs, World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers, pp. 1-10, [http://dx.doi.org/10.1061/41036\(342\)146](http://dx.doi.org/10.1061/41036(342)146)

Nishihara T, Miyaji T, Nasu M, Takubo Y, Kondo M (1989) Fungal flora in rainwater, Biomed Environ Sci. 2(4):376-384, <http://europepmc.org/abstract/MED/2604904>

Odan F K (2010) Previsão de Demanda para Sistemas de Abastecimento de Água, Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

Olaoye RA, Olaniyan OS (2012) Quality of rainwater from different roof material, International Journal of Engineering and Technology 2(8):1413-1421. Disponível em: http://iet-journals.org/archive/2012/august_vol_2_no_8/287181339673653.pdf

Oliveira LH, Cheng LY, Gonçalves OM and Massolino PMC (2013) Modelling of water demand in building supply systems using fuzzy logic, Building Serv. Eng. Res. Technology 34(2):145-163, <http://dx.doi.org/10.1177/0143624411429381>

Ornelas P (2004), Reúso de Água em Edifícios Públicos: O caso da Escola Politécnica da

Ozeki T, Koide K, Kimoto T (1995) Evaluation of sources of acidity in rainwater using a Constrained Oblique Rotational Factor analysis, *Environ. Sci. Technol.* 29(6):1638-1645, <http://dx.doi.org/10.1021/es00006a030>

Penkett SA, Jones BMR, Brich KA, Eggleton AEJ (1979a) The importance of atmospheric ozone and hydrogen peroxide in oxidising sulphur dioxide in cloud and rainwater, *Atmospheric Environment* (1967) 13(1):123-137, [http://dx.doi.org/10.1016/0004-6981\(79\)90251-8](http://dx.doi.org/10.1016/0004-6981(79)90251-8)

Penkett SA, Jones BMR, Eggleton AEJ (1979b) A study of SO₂ oxidation in stored rainwater samples, *Atmospheric Environment* (1967), Volume 13(1):139-147, [http://dx.doi.org/10.1016/0004-6981\(79\)90252-X](http://dx.doi.org/10.1016/0004-6981(79)90252-X)

Peña RM, García S, Herrero C, Lucas T (2001) Measurements and analysis of hydrogen peroxide rainwater levels in a Northwest region of Spain, *Atmospheric Environment* 35(2):209-219, [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00246-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00246-6)

Pereira JS (2007) Tarifas dos Serviços Públicos de Água e Esgotos no Brasil, Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados

Peters AJ, Weidner KL, Howley CL (2008) The chemical water quality in roof-harvested water cisterns in Bermuda, *Journal of Water Supply: Research and Technology, AQUA* 57(3):153-163, <http://dx.doi.org/10.2166/aqua.2008.045>

Pinfold JV, Horan NJ, Wirojanagud W, Mara D (1993) The bacteriological quality of rainjar water in rural northeast Thailand, *Water Research* 27(2):297-302, [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(93\)90089-Z](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(93)90089-Z)

Pio CA, Salgueiro ML, Nunes TV (1991) Seasonal and air-mass trajectory effects on rainwater quality at the south-western european border, *Atmospheric Environment, Part A, General Topics*, 25(10):2259-2266,
[http://dx.doi.org/10.1016/0960-1686\(91\)90101-C](http://dx.doi.org/10.1016/0960-1686(91)90101-C)

Plazinska A (2001) Microbiological quality of rainwater in selected indigenous communities in Central Australia, 10th International Rainwater Catchment Systems Conference: Rainwater International 2001, Section 3: Rainwater: Quality Issues, Mannheim, Germany

Proença LC, Ghisi E (2013) Assessment of Potable Water Savings in Office Buildings Considering Embodied Energy, *Water Resources Management* 27:581–599,
<http://dx.doi.org/10.1007/s11269-012-0203-1>

Proença LC, Ghisi E, Tavares DF, Coelho GM (2011) Potential for electricity savings by reducing potable water consumption in a city scale, *Resources, Conservation and Recycling* 55(11):960–965, <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.003>

Prestes EC, dos Anjos VE, Sodré FF, Grassi M T (2006) Copper, lead and cadmium loads and behavior in urban stormwater runoff in Curitiba, Brazil, *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 17(1):53-60,
<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532006000100008>

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico . “Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água” Gonçalves RF (coordenador). ISBN: 978-85-7022-161-2, Editora ABES, 2009

Quaghebeur D, De Wulf E, Ravelingien MC, Janssens G (1983) Polycyclic aromatic hydrocarbons in rainwater, *Science of The Total Environment* 32(1):35-54,
[http://dx.doi.org/10.1016/0048-9697\(83\)90131-6](http://dx.doi.org/10.1016/0048-9697(83)90131-6)

Quek U, Forster J. (1993) Trace metals in roof runoffs. *Water, Air Soil Pollut* 68(3-4):373–89, <http://dx.doi.org/10.1007/BF00478464>

QUIMIS Aparelhos Científicos (2013). Catálogo técnico de produtos. Disponível em: <http://www.quimis.com.br/institucional.php>

Reed RH (1997) Solar inactivation of faecal bacteria in water: the critical role of oxygen, *Letters in Applied Microbiology*, 24(4):276–280, <http://dx.doi.org/10.1046/j.1472-765X.1997.00130.x>

Robakidze EA, Torlopova V, Bobkova KS (2013) Chemical composition of wet precipitation in old-growth middle-taiga spruce stands, *Geochemistry International* 51(1):65-75, <http://dx.doi.org/10.1134/S0016702912110092>

Rocha VL (2009) Validação do algoritmo do Programa Netuno para avaliação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina

Rupp RF, Munarim U, Ghisi E (2011) Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial, *Ambiente Construído*, Porto Alegre, Vol. 11(4):47-64

Ruschetta S, Mosello R, Carcano A, Marchetto A, Tartari GA, Tornimbeni O, Defilippi A, Gallo R, Sartoris L (2006) Trace metal measurements in atmospheric depositions at three sites in Northern Italy. Methodology and preliminary results, *Snow Landsc. Res.* 80 2:191–200. Disponível em: www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/pdf/7611.pdf

Sahu SK, Pandit GG, Sadasivan S (2004) Precipitation scavenging of polycyclic aromatic hydrocarbons in Mumbai, India, *Science of The Total Environment* 318(1-3):245-249, [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00370-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00370-X)

Sakugawa H, Kaplan IR, Shepard LS (1993) Measurements of H₂O₂, aldehydes and organic acids in Los Angeles rainwater: Their sources and deposition rates, *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 27(2):203-219, [http://dx.doi.org/10.1016/0957-1272\(93\)90006-R](http://dx.doi.org/10.1016/0957-1272(93)90006-R)

SALVADOR. Prefeitura de Salvador, SEMUT – Secretaria de Urbanismo e Transporte. PDDU, Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, 2000.

SALVADOR. Prefeitura de Salvador, SETIN – Secretaria Municipal dos Transportes Urbanos e Infra-Estrutura. Plano Municipal de Saneamento Básico, 2010.

Sanhueza E, Figueroa L, Santana M (1996) Atmospheric formic and acetic acids in Venezuela, *Atmospheric Environment* 30(10–11):1861-1873, [http://dx.doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00383-5](http://dx.doi.org/10.1016/1352-2310(95)00383-5)

Santos CC (2011) Previsão de demanda de água na Região Metropolitana de São Paulo com redes neurais artificiais e condições socioambientais e meteorológicas, Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo

Santos SL (2008) “Bombas e Instalações Hidráulicas”. ISBN 8598257567. Editora LTCE, 1^a edição, 256 p.

Sazakli E, Alexopoulos A, Leotsinidis M (2007) Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece, *Water Research* 41(9):2039-2047, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.037>

Schlech WF, Gorman GW, Payne MC, Broome CV (1985) Legionnaires's disease in Caribbean: An outbreak associated with a resort hotel, *Archives of Internal Medicine*, 145(11):2076-2079, <http://dx.doi.org/10.1001/archinte.1985.00360110152030>

Scott R, Waller D (1987) Water quality analysis of a rainwater cistern system in Nova Scotia, Canada, Proceedings of the 3rd International Rainwater Collection System Association Conference. Section F: Water Quality, pp. 1-16, Khon Kaen, Thailand.

Sharpe WE, DeWalle DR (1985) Potential health implications for acid precipitation, corrosion, and metals contamination of drinking water, *Environmental Health Perspectives* 63:71-78, <http://www.jstor.org/stable/3430031>

Shivalingaiah B, James W (1984) Algorithms for buildup, washoff, and routing pollutants in urban runoff, Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage, Goteborg, Sweden, vol. 4:1445-1455, Ed. Balmer P, Malmquist P, Sjoberg A, ISBN 9-170-32128-0

Shivalingaiah B, James W (1987) Stormwater pollution modelling: minor sources of pollutants in urban sewer networks, *Canadian Journal of Civil Engineering* 14:131-134, <http://dx.doi.org/10.1139/l87-017>

Shuster WD, Lye D, De La Cruz A, Rhea LK, O'Connell K, Kelty A (2013) Assessment of residential rain barrel water quality and use in Cincinnati, Ohio, *Journal of the American Water Resources Association* 49(4):753–765, <http://dx.doi.org/10.1111/jawr.12036>

Simmons G, Hope V, Lewis G, Whitmore J, Gao W (2001) Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland, New Zealand, *Wat. Res.* 35(6):1518–1524, [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00420-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00420-6)

Simmons G, Jurya S, Thornleya C, Harteb D, Mohiuddina J, Taylor M (2008) A Legionnaires' disease outbreak: A water blaster and roof-collected rainwater systems, *Wat. Res.* 42(6–7):1449–1458, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2007.10.016>

SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades. “Abastecimento de água: gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento: guia do profissional em treinamento: nível 2”. 139 p. ReCESA – Rede Nacional de

Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental, Núcleo Regional do Nordeste, Salvador, 2008.

SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades. SNIS – Sistema Nacional de Indicadores de Saneamento (2012) Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto do ano 2010. Disponível em:

<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=6>

Solinst (2013). “Levellogger Series User Guide” e “Levellogger Series Software Compatible with Windows 4.0.3 e 4.1.0”. Solinst Canada Ltd. Disponível em: <http://www.solinst.com/>

Spinks A, Berghout B, Dunstan R, Coombes P, Kuczera G (2005) Tank sludge as a sink for bacterial and heavy metal contaminants and its capacity for settlement, re-suspension and flocculation enhancement. In: Proceedings of the 12th International Rainwater Catchment Systems Association Conference, New Delhi, India, November 2005.

Spinks AT, Coombes P, Dunstan RH, Kuczera G. (2003) Water quality treatment processes in domestic rainwater harvesting systems, In: Boyd, MJ (Editor); Ball, JE (Editor); Babister, MK (Editor); Green, J (Editor). 28th International Hydrology and Water Resources Symposium: About Water; Symposium Proceedings. Barton, A.C.T.: Institution of Engineers, Australia, 2227-2234. ISBN: 0858240602. Disponível em:

<http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=358922220770593;res=IELENG> ISBN: 0858240602.

Spinks AT, Dunstan RH, Harrison T, Coombes P, Kuczera G (2006) Thermal inactivation of water-borne pathogenic and indicator bacteria at sub-boiling temperatures, Water Research 40(6):1326-1332, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.01.032>

Tanajura CAS, Genz F, Araújo HA (2010). “Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente do HADRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para

2070-2100”. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25(3): 345 – 358

Thomas PR, Greene GR (1993) Rainwater quality from different roof catchments, *Water Science & Technology* 28(3-5):291–299. Disponível em:
<http://www.iwaponline.com/wst/02803/wst028030291.htm>

Uba BN, Aghogho O (2000) Rainwater quality from different roof catchments in the Port Harcourt district, Rivers State, Nigeria, *J Water SRT - Aqua* 49:281-28. Disponível em:
<http://www.iwaponline.com/jws/049/jws0490281.htm>

Umezawa Y, Takahiro H, Onodera S, Siringan F, Buapeng B, Delinom R, Yoshimizu C, Tayasu I, Nagata T, Taniguchi M (2008) Sources of nitrate and ammonium contamination in groundwater under developing Asian megacities, *Science of The Total Environment* 404(2–3):361-376, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.04.021>

Umezawa Y, Takahiro H, Onodera S, Siringan F, Buapeng B, Delinom R, Yoshimizu C, Tayasu I, Nagata T, Taniguchi M (2009) Erratum to “Sources of nitrate and ammonium contamination in groundwater under developing Asian megacities”, *Science of The Total Environment* 407(9):3219-3231, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.01.048>

Van der Sterren M, Rahman A, Dennis GR (2013) Quality and quantity monitoring of five rainwater tanks in Western Sydney, Australia, *J. Environ. Eng.* 139(3):332–340, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000614](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000614)

Van Metre PC, Mahler BJ (2003) The contribution of particles washed from rooftops to contaminant loading to urban streams, *Chemosphere* 52(10):1727–41, [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00454-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00454-5)

Varghese J, Jaya DS (2008) Drinking water quality assessment of rainwater harvested in ferrocement tanks in Alappuzha District, Kerala (India), *Journal of Environmental Science and*

Engineering, 50(2):115-20, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19295094>

Vázquez A, Costoya M, Peña RM, GarcíaS, Herrero C (2003) A rainwater quality monitoring network: a preliminary study of the composition of rainwater in Galicia (NW Spain), *Chemosphere* 51(5):375-386, ISSN 0045-6535, [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00805-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00805-6)

Vialle C, Sablayrolles C, Lovera M, Huau MC, Jacob S, Montrejaud-Vignoles M (2011) Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis, *Water Research* 45(12):3765-3775, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.04.029>

Vieira AS, Weeber M, Ghisi E (2013) Self-cleaning filtration: a novel concept for rainwater harvesting systems, *Resources, Conservation and Recycling* 78:67-73, <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.06.008>

Wang Q, Wang X, Ding X (2014) Rainwater trifluoroacetic acid (TFA) in Guangzhou, South China: Levels, wet deposition fluxes and source implication, *Science of The Total Environment* 468–469:272-279, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.055>

Wang W, Zhang Y, Esparra-Alvarado M, Wang X, Yang H, Xie Y (2014) Effects of pH and temperature on forward osmosis membrane flux using rainwater as the makeup for cooling water dilution, *Desalination* 351:70-76, <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2014.07.025>

Weibel SR, Weidner RB, Christiansen AG, Anderson RJ (1966) Characterization, treatment, and disposal of urban stormwater, *Advances in Water Pollution Research, Proceedings of the Third International Conference, Munich, vol. 1:329-352*, Water Pollution Control Federation.

Whipple W, Hunter JV (1981) Setteability of urban runoff pollution, *Journal Water Pollution Control Federation* 53(12):1726-1731, Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/25041200>

Whiteley HR, Licsko ZJ, Corsi RL (1993) Quality of stormwater from residential areas in Guelph, Ontario, Canada, *Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm*

Drainage, Niagara Falls, Ontario, Canada, vol. 1:531-536, ed. Marsalek J and Torno HC, Seapoint Pub, ISBN1-550-56253-3

WHO - World Health Organization (2011) Guidelines for drinking-water quality, fourth edition, ISBN: 978-92-4-154815-1. Disponível em:
http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf

Wirojanagud W, Hovichitr P, Mungkarndee P, Bunyakarn P, Chomvarin C (1989) Evaluation of rainwater quality: heavy metals and pathogens; final report. Published by Khon Kaen University, Thailand and International Development Research Centre, Canada. <http://hdl.handle.net/10625/24080>

Xavier RP, Siqueira LP, VitalI FC, RochaII FS, Irmão JI, Calazans GT (2011) Qualidade microbiológica da água potável no interior, região de Pajeú, Pernambuco, nordeste do Brasil. Rev. Inst. Med. trop. S. Paulo 53(3):121-124 ,
<http://dx.doi.org/10.1590/S0036-46652011000300001>

Yang F, Tan J, Shi ZB, Cai Y, He K, Ma Y, Duan F, Okuda T, Tanaka S, G. Chen G (2012) Five-year record of atmospheric precipitation chemistry in urban Beijing, China, Atmos. Chem. Phys. 12:2025-2035, <http://dx.doi.org/10.5194/acp-12-2025-2012>

Yaziz MI, Gunting H, Sapari N, Ghazali AW (1989) Variations in rainwater quality from roof catchments, Wat. Res. Vol. 23(6):761-765, [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(89\)90211-X](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(89)90211-X)

Yu H, Yu JZ (2012) Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban atmosphere of Guangzhou, China: Size distribution characteristics and size-resolved gas-particle partitioning, Atmospheric Environment 54:194-200, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.02.033>

Zufall MJ, Davidson CI (1998) Dry deposition of particles, in Atmospheric Particles, eds. Harrison RM, van Grieken R, IUPAC Series on Analytical and Physical Chemistry of Environmental Systems 5:425–473, John Wiley & Sons, Chichester, UK, ISBN 0-471-95935-9

Zereini F, Wiseman CLS (Eds.) (2011) Urban airborne particulate matter: Origin, Chemistry, Fate and Health Impacts, Environmental Science and Engineering, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-642-12277-4 (Print) 978-3-642-12278-1 (Online), <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-12278-1>

Zuo Y, Deng Y (1999) Evidence for the production of hydrogen peroxide in rainwater by lightning during thunderstorms, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63(19–20):3451–3455, [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00274-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00274-4)

Zushi Y, Masunaga S (2009) First-flush loads of perfluorinated compounds in stormwater runoff from Hayabuchi River basin, Japan served by separated sewerage system, *Chemosphere* 76(6):833–840, <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.04.004>