



**Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Civil e Ambiental**



**MARIA MARIAH MONTEIRO WANDERLEY ESTANISLAU COSTA
DE FARIAS**

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE CHUVA POR TELHADOS:
ASPECTOS QUANTITATIVOS E QUALITATIVOS**

**Caruaru
2012**

**MARIA MARIAH MONTEIRO WANDERLEY ESTANISLAU COSTA
DE FARIAS**

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE CHUVA POR TELHADOS:
ASPECTOS QUANTITATIVOS E QUALITATIVOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.
Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientadora: D.Sc. Sylvana Melo dos Santos
Co-orientador: Ph.D. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral

**Caruaru
2012**

Catálogo na fonte
Bibliotecária Simone Xavier CRB4 - 1242

F224a Farias, Maria Mariah Monteiro Wanderley Estanislau Costa de
Aproveitamento de águas de chuva por telhados: aspectos quantitativos e qualitativos. / Maria Mariah Monteiro Wanderley Estanislau Costa de Farias. - Caruaru: A autora, 2012.

115p.: il. ; 30 cm.

Orientadora: Sylvana Melo dos Santos

Coorientador: Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CAA. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2012.

Inclui bibliografia.

1. Telhados verdes. 2. Regiões áridas – Brasil, Nordeste. 3. Águas pluviais - aproveitamento. 4. Águas pluviais – manejo. 5. Água – controle da qualidade. 6. Água – retenção. I. Santos, Sylvana Melo dos (orientadora). II. Cabral, Jaime Joaquim da Silva Pereira. III. Título.

620 CDD (23.ed.)

UFPE (CAA 2012-40)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**APROVEITAMENTO DE AGUAS DE CHUVA POR TELHADOS:
ASPECTOS QUANTITATIVOS E QUALITATIVOS**

Defendida por

MARIA MARIAH MONTEIRO WANDERLEY ESTANISLAU COSTA DE FARIAS

Considera o candidato APROVADO

Caruaru, 27 de abril de 2012

Sylvana Melo dos Santos – PPGECA/UFPE
(orientadora)

Suzana Maria Gico Lima Montenegro – PPGECA/UFPE
(examinadora externa)

Simone Machado Santos – PPGECA/UFPE
(examinadora interna)

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Narcizo (*in memorian*), à minha mãe, Thereza, ao meu filho, João Guilherme e ao meu irmão, Gregório.

AGRADECIMENTOS

À minha família, especialmente à minha mãe pelo suporte emocional e logístico, e ao meu pequeno João, que compreendeu a ausência da mãe, tornando-se independente antes do tempo.

À minha orientadora, professora Sylvana Melo dos Santos, pela orientação precisa, pelos valiosos ensinamentos e pela confiança em mim depositada, além da enorme paciência na fase final do curso.

Ao meu co-orientador, professor Jaime Cabral, pelos valiosos conselhos dados durante o desenvolvimento da pesquisa.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do estado de Pernambuco – FACEPE – pela bolsa de pós-graduação no nível de Mestrado Acadêmico.

Às professoras Érika Marinho e Sávia Gavazza, coordenadoras do Laboratório de Química e do Laboratório de Engenharia Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste respectivamente, pelo suporte proporcionado para realização das análises de qualidade da água.

Ao Sr. Ivan Ferraz, gestor do Instituto de Pesquisa Agronômica de Pernambuco, e aos demais colaboradores da instituição, por cederem seus telhados para instalação do experimento.

Aos técnicos: Samuel, por sua presteza e gentileza, sempre disposto a ajudar, além de emprestar o ouvido para ouvir minhas angústias e incertezas. Amanda e Claudete, pelo apoio dado no LQ, por escutarem eu chamá-las umas quinze vezes por dia, e principalmente pela ajuda com a mufla. Luiz do LEA, pelas dicas de química e tantas outras. Amós, do LRH, pela companhia nos dias de coleta e seu infalível despertador.

Aos companheiros de pesquisa: Everton Anão, companheiro inseparável e incansável, além de um ótimo carregador de escadas. Wedja e Dayana, companheiras de coletas e análises.

Aos colegas de curso: Alex e Manu, juntos nos fortalecemos, às vezes quase nos desesperamos. No fim, tudo terminou em “Stella”. Manoel, Francisco e Marthyna. Márcio e Ricardo. Aos que vieram depois, minha “herdeira” de projeto, Glenda, e Denize pelos momentos de descontração inesquecíveis!

Aos companheiros do LEA e do LQ: Junior, Manu, Kamilla, Bruna, Evanilly, José Roberto, Jadson, Jéssica, Danilo, Luiz Henrique.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

*“O sabiá no sertão
Quando canta me comove
Passa três meses cantando
E sem cantar passa nove
Porque tem a obrigação
De só cantar quando chove”*

Zé Bernardinho

RESUMO

Nos últimos anos tem-se observado, em várias localidades, um crescimento populacional acelerado. A maior parte da população vive em áreas urbanas e enfrenta diversos problemas relacionados ao abastecimento precário de água e à ocorrência de eventos extremos, tais como estiagem prolongada e enchentes. Nesse contexto, se insere o aproveitamento de águas de chuva, que deverão ser captadas e acumuladas em reservatórios, de modo que a mesma possa ser consumida, de imediato ou após algum tempo, em determinados usos. A captação, o armazenamento e a utilização de água de chuva em áreas urbanas podem impactar positivamente no sistema de drenagem urbana, reduzindo o volume de água afluente ao sistema e também no sistema público de abastecimento, podendo diminuir a demanda e o consumo de água potável. Neste contexto, com base nos dados pluviométricos da região, e outras informações levantadas, realizou-se uma investigação sobre o potencial de captação de água de chuva.

Por outro lado, considerando os benefícios, amplamente divulgados na literatura científica, do emprego dos telhados verdes, foram investigados os desempenhos destes com relação a um telhado convencional com as mesmas características. Dentre os benefícios identificados, a estrutura do telhado verde, que consiste no uso de vegetação plantada sobre coberturas com impermeabilização e com drenagem adequadas, destaca-se o ganho de conforto ambiental, a melhoria da qualidade do ar e a minimização do impacto pluvial, restando parte da precipitação e retardando o início do escoamento superficial. Tais estruturas contribuem, portanto, para redução de problemas ambientais, especialmente os ligados à poluição e às enchentes e inundações. Neste trabalho, foi realizada a comparação em aspectos qualitativos e quantitativos de três superfícies de captação: um telhado convencional com telhas cerâmicas e dois telhados verdes, sendo um com vegetação grama-de-burro e outro com vegetação nativa, o cacto coroa-de-frade.

No que se refere aos aspectos qualitativos foi analisada a qualidade da água escoada das três superfícies para investigação da influência dos telhados verdes (vegetação e substrato) sobre a mesma, para isso foram realizadas coletas quinzenais de amostras de água e análise dos seguintes parâmetros: cor, turbidez, temperatura, pH, alcalinidade, dureza, cloretos, ferro, nitrogênio, fósforo e oxigênio dissolvido.

Com relação aos aspectos quantitativos, a investigação se baseou na comparação entre os volumes precipitados e os escoados por cada uma das estruturas para os respectivos tonéis de armazenamento, visando identificar assim o potencial de redução do volume de água que seria destinado ao sistema de drenagem urbana sem o uso do telhado verde.

Além disso, foi realizado estudo sobre o potencial de captação de água de chuva e os resultados indicam que a captação de água de chuva por telhados com telhas cerâmicas pode constituir uma alternativa importante para suprir o *déficit* de abastecimento de água na região. Da análise dos aspectos qualitativos, observou-se que apesar das alterações apresentadas, devido principalmente à passagem pelo substrato, a água escoada dos telhados verdes pode ser empregada em usos menos nobres, como lavagem de pisos e irrigação de jardins. Da comparação dos volumes escoados pelas superfícies consideradas, verificou-se que os telhados verdes podem contribuir para a redução do escoamento superficial da água de chuva, sendo que os melhores resultados, neste aspecto, foram obtidos com o emprego da vegetação coroa-de-frade.

Palavras-chave: telhados verdes, região semiárida, aproveitamento de água de chuva, qualidade da água, capacidade de retenção de água do telhado verde.

ABSTRACT

In the last years, it has been observed, in many places, a fast increase of the population. Most of the population lives in urban areas and has several problems related with an inefficient water supply and with the occurrence of precipitation extreme events, such as long dry season or occurrence of floods. In this context, there is rainwater harvesting and rainwater storage into the tanks for immediate or future use. Harvesting, storage and use of rainwater in urban areas can cause a positive impact over the public system of water supply through the reduction of demand and of use of potable water. Based on precipitation data of the region and others information, it was carried out an investigation about the potential of rain water harvesting.

On the other hand, considering the benefits, extensively showed in scientific literature, of the use of green roofs, it was investigated the performance of these with relation to a conventional rooftop with same characteristics. Among the identified benefits, the green roof structure, which consists in a roof with vegetation planted over its impermeable area and drainage system which were made in an appropriate way, the environmental comfort and the improvement of air quality and the reduction of pluvial impact can be detached due the retention of part of precipitation and the delay of the start of surface discharge. These structures contribute for the reduction of environmental problems, mainly the problems that are linked to pollution and floods and inundations. In this work, it was made the comparison between three harvesting surfaces rainwater considering qualitative and quantitative aspects: one conventional rooftop with ceramic roof tile and two green roofs, in which it was planted one kind of grass called *grama-de-burro* and on other was planted native vegetation called *coroa-de-frade cactus*.

Regarding the qualitative aspects, it was analyzed the water quality from three surfaces for investigation of the green roofs influence (vegetation and soil), and fortnightly water sampling was made and following parameters were analyzed: color, turbidity, pH, alkalinity, hardness, chloride, iron, nitrogen, phosphorus and dissolved oxygen.

With relation to quantitative aspects, the investigation was based on comparison between amount of precipitation and amount of discharge from each roof into respective storage tank, to identify the reduction potential of the amount of water that would be directed to urban drainage system without green roofs.

Moreover, it was made an investigation about the potential of harvesting rainwater and the results indicate that the harvesting rainwater for conventional rooftop with ceramic roof tile can be an important alternative to end the *deficit* of water supply in the region. With relation to qualitative aspects, it was observed that in spite of the change in the parameters value due mainly the passing through the soil, the water discharged from the green roofs can be applied in poor use, like floor wash and irrigation of gardens. From comparison between the amount of water discharged from each surface, it was observed that the green roofs can contribute for a reduction of surface discharge of rainwater, however the best results, in these aspects, were obtained with the use of vegetation *coroa-de-frade*.

Keywords: green roofs, semiarid region, rainwater harvesting, water quality, water retention capacity of green roof.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da população, em %, e disponibilidade hídrica, em %, por bacia hidrográfica. Fonte: ANA, 2011. Disponível em http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb/doc/WRMB/index.htm	16
Figura 2 - Efeito do aumento de superfícies impermeáveis sobre o ciclo hidrológico. Fonte: Paz (2004, adaptado de EPA, 1998).....	20
Figura 3 - Exemplos de telhados verdes. Fonte: Hathaway, Hunt & Jennings (2008).....	22
Figura 4 - Exemplos de telhados verdes intensivo e extensivo	23
Figura 5 - Corte esquemático cobertura verde. Fonte: <i>Planning Guide</i> (2000) <i>apud</i> Moraes (2004)	23
Figura 6 - Esquema da estrutura básica de implantação de um telhado verde. Fonte: Oliveira, 2009.	25
Figura 7 - Volume de controle associado ao telhado verde indicando o sentido de movimento das componentes do ciclo hidrológico. Fonte: Santos (2011).	26
Figura 8 - Volumes anuais de água retidos em edificações com telhados verdes observados por Palla, Gnecco & Lanza (2010).	29
Figura 9 - Localização do município de Caruaru na região Agreste, em Pernambuco e no Brasil.....	45
Figura 10 - Precipitação média mensal para o município de Caruaru. Série histórica 1992 a 2007. Fonte: SARA (2011).....	48
Figura 11 - Precipitação média mensal para doze cidades do Agreste pernambucano no período de 1986 a 2005. Fonte: ANA – <i>HidroWeb</i> (2010)	51
Figura 12 - Localização do experimento.	56
Figura 13 - Telhados verdes utilizados nesta pesquisa.....	57
Figura 14 - Disposição dos telhados verdes e controle nas instalações do IPA. Fonte: Santos, 2011.	57
Figura 15 - Bombona de 240 L para armazenamento da precipitação excedente dos telhados.....	58
Figura 16 - Plataforma de Coleta de Dados.....	59
Figura 17 - Pluviômetro de báscula. Fonte: Araújo (2010).....	59
Figura 18 - Potencial mensal de economia de água do sistema público de abastecimento pelo uso de água de chuva – cidades com comportamentos extremos – máximo e mínimo.	62
Figura 19 - Potencial mensal de economia de água do sistema público de abastecimento pelo uso de água de chuva nas 71 cidades – máximo, média e mínimo.....	64
Figura 20 - Precipitação mensal acumulada (em mm) para o ano de 2011. Fonte: INPE (http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/historico/consulta_pcdm.jsp)	65
Figura 21 - Valores de precipitação, em mm, obtidos do site do INPE.	68
Figura 22 - Percentual de precipitação não armazenada no tonel.	72
Figura 23 - Valores observados de cor aparente na água armazenada nos tonéis.	78
Figura 24 - Valores observados de cor real na água armazenada nos tonéis.....	78
Figura 25 - Valores observados de turbidez na água armazenada nos tonéis.....	79
Figura 26 - Valores observados de pH na água armazenada nos tonéis.....	80
Figura 27 - Valores observados de alcalinidade na água armazenada nos tonéis.	82
Figura 28 - Valores observados de dureza total na água armazenada nos tonéis.....	83
Figura 29 - Valores observados de cloretos na água armazenada nos tonéis.	84
Figura 30 - Valores observados de condutividade elétrica na água armazenada nos tonéis. ...	85
Figura 31 - Valores observados de Ferro total na água armazenada nos tonéis.....	86

Figura 32 - Valores observados para o nitrogênio nas formas de nitrito, nitrato e amônia na água armazenada nos tonéis.	89
Figura 33 - Valores de fosfato observados na água armazenada nos tonéis.....	90
Figura 34 - Valores observados de OD na água armazenada nos tonéis.	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Crescimento populacional (%) entre os anos de 2000 e 2010.....	15
Tabela 2 - Parâmetros de qualidade e quantidade do escoamento para três opções de telhados.	30
Tabela 3 - Média dos resultados obtidos com a caracterização das água de chuva em diferentes pesquisas.	43
Tabela 4 – Percentual de domicílios do Agreste Pernambucano abastecidos com água do sistema público de abastecimento.....	49
Tabela 5 - Dimensões dos telhados verdes e telhado controle	56
Tabela 6 - Especificações dos kits (Spectrokit).....	60
Tabela 7 - Parâmetros analisados nas amostras da água captada pelos telhados verdes.	60
Tabela 8 - Resultados para doze municípios do Agreste Pernambucano	63
Tabela 9 - Precipitação acumulada e volumes armazenados nos tonéis para os telhados verdes e o telhado controle.....	69
Tabela 10 - Valores obtidos para os parâmetros analisados em todas as amostras da água excedente do telhado verde com grama-de-burro.....	74
Tabela 11 - Valores obtidos para os parâmetros analisados em todas as amostras da água excedente do telhado verde com coroa-de-frade	75
Tabela 12 - Valores obtidos para os parâmetros analisados em todas as amostras da água excedente do telhado controle.	76
Tabela 13 – Comparação com a NBR 13.969/1997.	94
Tabela 14 - Comparação com os padrões de classificação da água da NBR 13.969/1997.	95
Tabela 15 - Comparação com a publicação sobre a “Qualidade da Água para Irrigação”	95
Tabela 16 - Comparação com a NBR 2.914/2011.....	96
Tabela 17 – Comparação com a NBR 15.527/2007.	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μS	Microsiemens
A	Área
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
APHA	<i>American Public Health Association</i> (Associação Americana de Saúde Pública)
CAA	Centro Acadêmico do Agreste
CE	Condutividade elétrica
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
cm	Centímetros
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONDEPE/FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
Conduct.	Condutividade
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental)
FTU	<i>Formazine Turbidity Unit</i>
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPA	Instituto Agrônomo de Pernambuco
IQA	Índice de Qualidade da Água
L	Litro
LAMEPE	Laboratório de Meteorologia de Pernambuco
LEA	Laboratório de Engenharia Ambiental
LQ	Laboratório de Química
m	Metros
mg	Miligramas
mm	Milímetros
MS	Ministério da Saúde
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número mais provável
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Units</i> (unidade nefelométrica de turbidez)
OD	Oxigênio Dissolvido
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
pH	Potencial Hidrogeniônico
Pt/Co	Platina/Cobalto
Rc	<i>Runoff coefficient</i> (coeficiente de escoamento)
SARA	Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária
SDR/MI	Secretaria de Desenvolvimento Regional/Ministério da Integração
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
Sudene	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SUS	Sistema Único de Saúde
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
WHO	<i>World Health Organization</i> (Organização Mundial de Saúde)

uC	Unidade de cor
uH	Unidade de Hazen
uT	Unidade de turbidez

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Relevância do tema.....	15
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 Ciclo hidrológico	19
2.2 Aproveitamento de água de chuva	21
2.3 Telhados verdes	22
2.3.1 Classificação dos telhados verdes.....	22
2.3.2 Elementos construtivos dos telhados verdes	25
2.3.3 Balanço hídrico do telhado verde	26
2.3.4 Estado da Arte	27
2.4 Indicadores de qualidade da água.....	31
2.4.1 Cor	34
2.4.2 Turbidez.....	34
2.4.3 pH	35
2.4.4 Alcalinidade.....	36
2.4.5 Dureza total.....	37
2.4.6 Cloretos.....	37
2.4.7 Condutividade Elétrica	38
2.4.8 Ferro	39
2.4.9 Nitrogênio.....	39
2.4.10 Fósforo.....	40
2.4.11 Oxigênio dissolvido.....	41
2.4.12 Temperatura.....	41
2.4.13 Sólidos Dissolvidos Totais	42
2.4.14 Qualidade da água de chuva	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1 Área de estudo	44
3.1.1 Aspectos geográficos.....	44
3.1.2 Geomorfologia.....	46
3.1.3 Vegetação	46
3.1.4 Hidrografia	46
3.1.5 Precipitação e evapotranspiração.....	47
3.1.6 Aspectos socioeconômicos	48
3.2 Potencial de aproveitamento de água de chuva no Agreste Pernambucano.....	49
3.2.1 Cálculo do potencial de economia de água do sistema de abastecimento.....	51
3.3 Experimento com telhados verdes no Agreste Pernambucano.....	55
3.3.1 Descrição da estrutura existente	55
3.3.2 Obtenção de dados pluviométricos.....	58
3.3.3 Análise de qualidade da água	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
4.1 Potencial de economia de água proveniente do sistema público de abastecimento	61
4.1.1 Número de habitantes por domicílios.....	61

4.1.2 Área de telhados	61
4.1.3 Demanda de água do sistema público de abastecimento	61
4.1.4 Volume aproveitável de água de chuva captada por telhados com telhas cerâmicas	61
4.1.5 Potencial de economia de água do sistema público de abastecimento	62
4.2 Estudo da precipitação no município de Caruaru e da capacidade de retenção de água pelo telhados estudados	64
4.3 Indicadores de qualidade da água	73
4.3.1 Cor	77
4.3.2 Turbidez	79
4.3.3 pH	80
4.3.4 Alcalinidade	81
4.3.5 Dureza total	82
4.3.6 Cloretos	83
4.3.7 Condutividade elétrica	84
4.3.8 Ferro	85
4.3.9 Nitrogênio	86
4.3.10 Fósforo	88
4.3.11 Oxigênio Dissolvido	91
4.3.12 Temperatura	92
4.3.13 Sólidos Dissolvidos Totais	92
4.4 Comparação com legislações vigentes e recomendações e proposições de uso	93
4.4.1 NBR 13.969/1997 - Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos.	93
4.4.2 Documentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da Água de Irrigação”.	95
4.4.3 Portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914/2011 - Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.	96
4.4.4 NBR 15.527/2007 – Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos.	96
4.5 Proposição de reuso	97
4.5.1 Água proveniente dos telhados verdes.	97
4.5.2 Água proveniente do telhado convencional	98
4.6 Considerações finais	98
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	100
5.1 Conclusões	100
5.2 Recomendações	102
REFERÊNCIAS	104
ANEXO I - Resultados de potencial de economia de água potável para os 71 municípios estudados	111

1 INTRODUÇÃO

1.1 Relevância do tema

Nos últimos anos, tem-se observado, em várias localidades, um crescimento populacional acelerado. No Brasil, o crescimento populacional entre os anos de 2000 e 2010 foi em torno de 12%, enquanto que na região Nordeste do Brasil, no estado de Pernambuco e na mesorregião do Agreste Pernambucano, esse crescimento foi de aproximadamente 11% para o mesmo período, acompanhando a tendência nacional, segundo as informações do IBGE (2010a) que estão apresentadas na Tabela 1. Este aumento populacional gera diversos impactos, dentre os quais o aumento na demanda por recursos naturais, principalmente água doce.

Tabela 1 - Crescimento populacional (%) entre os anos de 2000 e 2010.

	População (Censo 2000)	População (Censo 2010)	Crescimento Populacional (%)
Brasil	169.590.693	190.755.799	12%
Nordeste	47.693.253	53.081.950	11%
Pernambuco	7.918.344	8.796.032	11%
Agreste	1.993.868	2.217.212	11%

Fonte: IBGE, 2010a

Devido ao mau uso e/ou à má gestão dos recursos hídricos, a quantidade e a qualidade das águas superficiais e subterrâneas estão cada vez mais comprometidas. No caso do Brasil, segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011), a bacia do rio Amazonas é a que apresenta a maior disponibilidade hídrica, concentrando 73% da água doce disponível no país, numa área que concentra apenas 5% da população do país. Os 27% de água restante, disponíveis no país, são para suprir a demanda de 95% da população. Esta distribuição geográfica irregular compromete a disponibilidade hídrica em alguns estados, criando situações de estresse hídrico (mais graves em determinados períodos do ano, em que ocorrem as estiagens) no Distrito Federal e em alguns estados do Nordeste como Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Sergipe e Rio Grande do Norte. Tal irregularidade se agrava quando se compara a população residente e a respectiva disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas brasileiras (Figura 1). Pode-se observar que as bacias hidrográficas Paraná, Atlântico Leste e Atlântico Norte/Nordeste juntas concentram aproximadamente 75% da população brasileira e apenas 13,4% da água doce disponível no país.

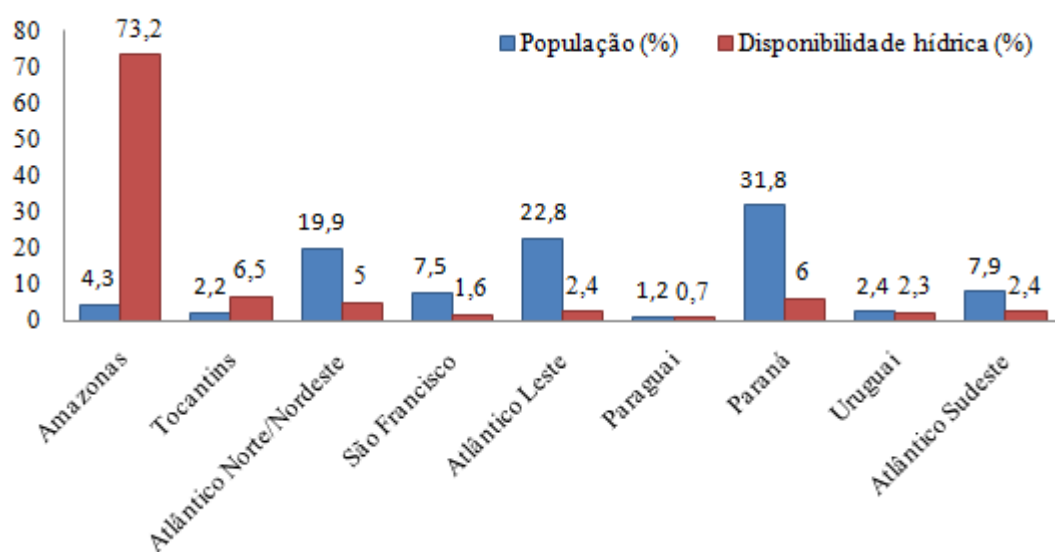


Figura 1 - Distribuição da população, em %, e disponibilidade hídrica, em %, por bacia hidrográfica.
Fonte: ANA, 2011. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb/doc/WRMB/index.htm>

No que se refere ao estado de Pernambuco, de acordo com as informações constantes no “Relatório Final do Grupo de Trabalho Interministerial para Redelimitação do Semiárido Nordestino e do Polígono das Secas” da Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional do Ministério da Integração Nacional (SDR/MI, 2005), existem 122 municípios dentro da área redelimitada do semiárido nordestino. Segundo dados da ANA (2011), Pernambuco é o estado brasileiro que apresenta a menor disponibilidade hídrica, aproximadamente 1270 m³/habitante/ano. Além disso, boa parte da região está assentada em embasamento cristalino, restringindo as possibilidades de captação e acumulação de águas subterrâneas.

Não obstante a situação de *déficit* hídrico, a região do semiárido apresenta também problemas de qualidade de água, especialmente no que diz respeito à salinidade. A água com altos teores de sais, além de imprópria para o consumo humano é também inadequada para a irrigação. Segundo Suassuna (1996), a água explorada em estrutura cristalina do semiárido nordestino apresenta salinidade elevada, com teor de cloretos acima de 1000 mg/L. Segundo a *World Health Organization* (WHO, 2008), a recomendação é que o teor de cloretos na água para consumo humano não exceda 250 mg/L, pois acima desse valor a água apresenta sabor. No semiárido nordestino, a origem da salinidade nas águas está relacionada com o tipo de solo com o qual a água está em contato e a natureza da rocha, sendo que as águas subterrâneas apresentam maior concentração de sais do que as águas superficiais (SUASSUNA, 1996).

Neste cenário destacam-se as iniciativas voltadas ao aproveitamento de águas de chuva de forma que, uma vez captadas e acumuladas em reservatórios, as mesmas possam ser

consumidas, de imediato ou após algum tempo, em determinados usos. De acordo com Tomaz (2003), as águas captadas em telhados localizados em áreas urbanas devem ser utilizadas exclusivamente para fins não-potáveis, como o uso em descargas sanitárias, na lavagem de roupas, de carros e de pisos, além da irrigação de jardins. Complementarmente, May (2008) afirma que o uso de água de chuva deve figurar como uma alternativa a ser considerada em áreas de elevada precipitação, áreas com abastecimento público deficitário e/ou áreas com alto custo de extração de águas subterrâneas. A captação, o armazenamento e a utilização de água de chuva em áreas urbanas podem impactar positivamente no sistema de drenagem urbana, reduzindo o volume de água afluente ao sistema e bem como no sistema público de abastecimento, reduzindo a demanda e o consumo de água potável.

Por um lado, a situação de escassez hídrica descrita aqui constitui uma realidade recorrente em muitos municípios do estado de Pernambuco, por outro lado, a precipitação observada na região se concentra em poucos meses do ano, e tal comportamento é semelhante para toda a região Agreste, com diferenças principalmente nas intensidades pluviométricas observadas, que são menores nas regiões mais próximas ao Sertão pernambucano e maiores nos municípios próximos à Zona da Mata. Neste contexto, segundo dados da Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC, 2010), no ano de 2010 foram notificados 13 (treze) desastres no estado de Pernambuco, dos quais 7 (sete) estavam relacionados com o aumento de chuvas, inclusive na região do semiárido. Justifica-se, assim, o esforço em otimizar a captação e o armazenamento da água de chuva que ocorre mais intensamente no período de maio a julho, visando minimizar o estresse hídrico observado nos meses de agosto a dezembro que são os mais secos do ano. A falta de infra-estrutura básica no semiárido pernambucano, como rede de drenagem e distribuição precária de água potável, além das condições climáticas da região, com chuvas irregulares e altas taxas de evapotranspiração, que contribuem para ampliar o potencial de eventos extremos, como inundações e estiagem prolongada, constituíram motivações adicionais para instalação da estrutura e realização dos experimentos com os telhados, realizados no âmbito desta pesquisa, no município de Caruaru, localizado na região do Agreste pernambucano.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de captação de água de chuva na região, bem como as possibilidades de seu aproveitamento e o impacto dos telhados verdes sobre o sistema de drenagem.

1.2.2 Objetivos específicos

- i) Identificar o potencial de economia de água proveniente do sistema de abastecimento público devido à utilização de água de chuva captada pelos telhados no Agreste pernambucano;
- ii) Comparar o desempenho do telhado verde, em relação à capacidade de retenção de águas de chuva, de acordo com a vegetação utilizada no município de Caruaru, Pernambuco;
- iii) Comparar o desempenho do telhado verde em relação ao telhado controle (com telhas cerâmicas), no que se refere à qualidade da água de chuva captada e armazenada, de acordo com a vegetação utilizada, no município de Caruaru, Pernambuco;
- iv) Discutir, para a água de chuva captada pelos telhados verdes, os parâmetros de qualidade da água em relação à NBR 13.969/1997 (Projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos);
- v) Discutir, para a água de chuva captada pelos telhados verdes, os parâmetros de qualidade da água, com base na documentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da Água de Irrigação”;
- vi) Discutir, para a água de chuva captada pelo telhado controle, os parâmetros de qualidade da água em relação à Portaria MS nº 2.914/2011 (Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade);
- vii) Discutir, para a água de chuva captada de cada uma das superfícies estudadas, os possíveis usos, com base na NBR 15.527/2007 (Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico consiste no fenômeno de circulação global da água, ou seja, a quantidade de água existente no planeta se conserva, mantendo-se constante ao longo do tempo, como um ciclo fechado. Entretanto, segundo Silveira (2009), quando se considera áreas menores de drenagem, o ciclo hidrológico é caracterizado como aberto em nível local, visto que os movimentos contínuos tanto da atmosfera quanto da superfície terrestre fazem com que os volumes evaporados em um determinado local sejam precipitados em outro. Os principais componentes do ciclo hidrológico são a precipitação, a interceptação, a infiltração, a transpiração, o escoamento superficial e a evaporação, visto que estes interagem diretamente com a atmosfera.

Sobre a interferência de cada uma dessas componentes no movimento da água dentro do ciclo hidrológico, Silveira (2009) apresentou algumas considerações: a precipitação é a principal forma de transferência de água da atmosfera para a superfície terrestre, sendo que a precipitação na forma de chuva é mais comum, podendo ocorrer também na forma de neve, granizo, orvalho, geada; a interceptação se dá quando a precipitação, na forma de chuva ou de neve, encontra um solo com cobertura vegetal e parte dela fica retida nas folhas e caules da vegetação, evaporando em seguida; a precipitação que excede a capacidade de armazenamento da superfície da vegetação atinge o solo, possibilitando a infiltração da água precipitada até que o solo atinge o ponto de saturação; já no interior do solo, parte da água precipitada é aproveitada pela vegetação através das raízes e volta para a atmosfera através da transpiração, e o que não é aproveitado pelas plantas, percola até atingir o lençol freático; quando o solo encontra-se saturado, a precipitação excedente gera o escoamento superficial, que é impulsionado pela força da gravidade, formando pequenos filetes que convergem para cursos d'água, podendo ficar retida durante o caminho devido à presença de vegetação na superfície do solo por onde passa; fechando o ciclo hidrológico, os processos de evaporação e transpiração consistem na transformação da precipitação na forma líquida para a forma de vapor d'água através da atuação da radiação solar.

De uma forma geral, as variáveis do ciclo hidrológico, expressas em lâmina de água, no período de tempo, relacionam-se como explicitado na Equação 2.1, sendo considerado como sistema a bacia hidrográfica ou qualquer sub-bacia.

$$P = Q_{saída} - Q_{entrada} + ET + \Delta S \quad (2.1)$$

Onde:

P é a precipitação [L]; $Q_{saída}$, o escoamento da água para fora do sistema [L]; $Q_{entrada}$, o escoamento da água para dentro do sistema [L]; ET , a evapotranspiração [L]; e ΔS , a variação do armazenamento de água no sistema [L].

O aumento ou diminuição de áreas impermeabilizadas pode afetar negativa ou positivamente o ciclo hidrológico em nível local, conforme mostrado na Figura 2, onde é possível verificar que o aumento na quantidade de superfícies impermeáveis gera um aumento na parcela de precipitação que escoam superficialmente, e a diminuição das parcelas infiltradas e percoladas, conforme balanço apresentado na Equação 2.1. Por consequência, a recarga de aquíferos também fica comprometida.

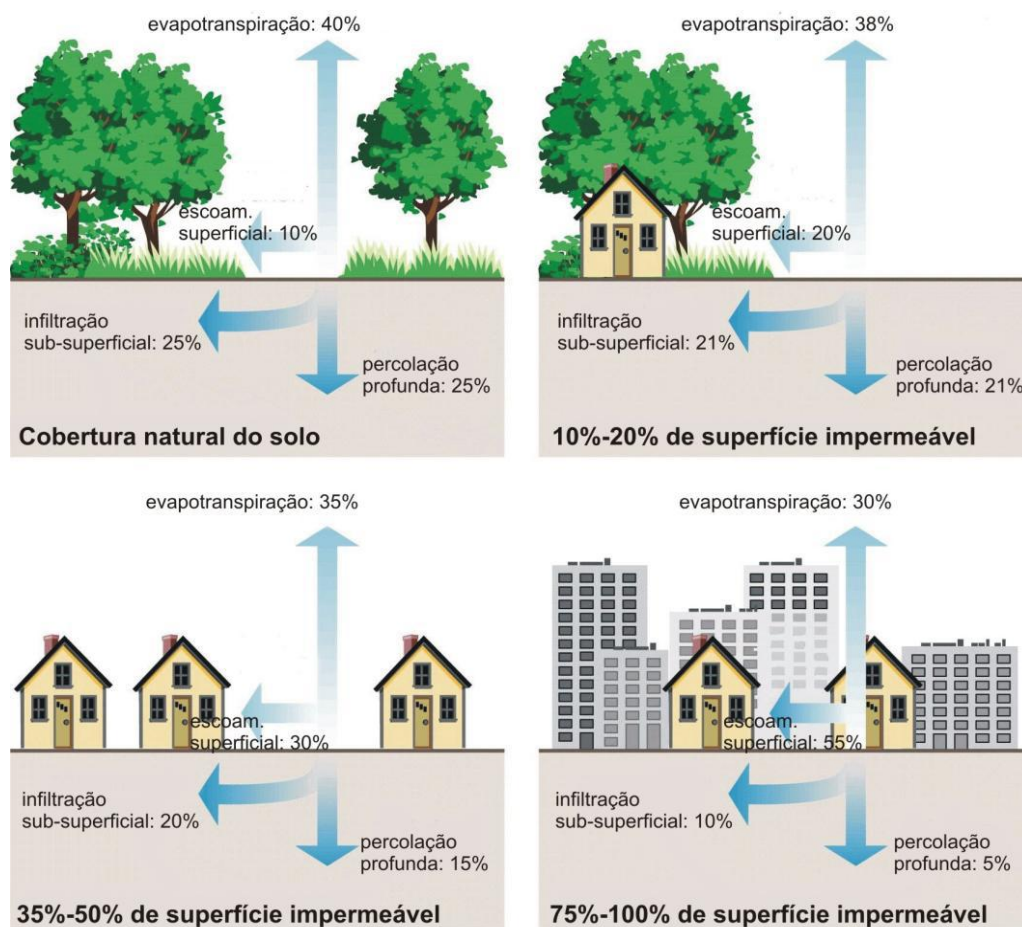


Figura 2 - Efeito do aumento de superfícies impermeáveis sobre o ciclo hidrológico. Fonte: Paz (2004, adaptado de EPA, 1998)

2.2 Aproveitamento de água de chuva

Existem muitos estudos que registram o uso de sistemas de captação de águas de chuva para consumo humano desde os primórdios da civilização, tendo sido, inclusive inventados independentemente em várias partes do mundo e em diversos continentes. Da história antiga, constam registros destes sistemas em regiões semiáridas, onde havia chuvas apenas em poucos meses do ano. Indicações mais recentes também foram observadas, até os anos 50, por exemplo, existiam apartamentos construídos sobre cisternas em que se podia armazenar água para o caso de falha no sistema de abastecimento convencional, secas ou combate a incêndio (WEINER, 1987).

As potencialidades dos sistemas de captação e armazenamento de água estão além de uma reserva estratégica, segundo Machado & Cordeiro (2004), a captação de água de chuva é uma alternativa sustentável para minimizar o risco de enchentes, uma vez que evita que estas águas escoem superficialmente. Ainda segundo os autores, a água captada pode ser utilizada para consumo doméstico, industrial e rural. Em relação ao consumo doméstico, como descrito por Tomaz (2003), as águas captadas e armazenadas podem ser utilizadas nas descargas de banheiros, na lavagem de pisos, na irrigação de jardins e até para lavagem de roupas. No uso industrial podem ser utilizadas para resfriamento de equipamentos, serviços de limpeza, irrigação de áreas verdes, entre outros. Na área rural, podem ser utilizadas na irrigação de lavouras. Sendo assim, um dos usos previstos para a captação de água de chuva dos telhados verdes pode ser a sua utilização na manutenção dos mesmos durante os períodos de estiagem, garantindo a sustentabilidade hídrica do sistema. De acordo com Gnadlinger (2004), o uso de cisternas tem sido, cada vez mais, substituído por novas tecnologias, mesmo em regiões de grande escassez hídrica e de regime pluviométrico irregular, em que se pode observar um crescente aproveitamento das águas subterrâneas e construções de grandes barragens.

Gnadlinger (1997) definiu cisterna como um reservatório construído, fechado em cima, que serve para armazenar a água da chuva que escorre dos telhados ou da superfície da Terra. Souza (2009), entretanto, destacou os benefícios apresentados por alguns pesquisadores (SCHISTEK, 1999; JALFIM, 2003; ALMEIDA & LIMA, 2007), em usar superfícies rochosas ou calçadas, piso cimentado construído ou aproveitado para captação da água de chuva. Segundo Souza (2009), também na falta de um volume de armazenamento suficientemente grande para suprir a demanda de uma família, uma solução que pode se tornar viável é a construção de um telhado extra, ao contrário de se tentar construir uma cisterna maior, assim a cisterna recuperaria a quantidade de água mais rapidamente, com uma pequena

chuva, por exemplo. De acordo com Gnadlinger (1997), normalmente o telhado da residência é suficiente para captar água para uma família beber e cozinhar durante um ano em 90% dos casos do Nordeste. Combinando a capacidade de armazenamento de água de chuva com outros benefícios que incluem o ganho de conforto térmico dos espaços internos das edificações e, conseqüentemente, redução nos gastos de energia necessária para aquecimento ou resfriamento de ambientes, a construção de telhados verdes tem sido realizada em diversas localidades no mundo.

2.3 Telhados verdes

Os telhados verdes são também chamados telhados vivos, cobertura viva, cobertura vegetal, entre outros. Todas essas denominações são para designar o uso de vegetação plantada sobre coberturas com impermeabilização e drenagem adequadas, agindo positivamente sobre os subsistemas termodinâmico (conforto ambiental), físico-químico (qualidade do ar) e hidrometeorológico (impacto pluvial), contribuindo para a redução de problemas ambientais, especialmente os ligados à poluição e às enchentes e inundações, visto que os telhados verdes, devido à presença da vegetação e da camada de solo, são capazes de reter parte da precipitação em sua estrutura, retardando o início do escoamento superficial (GONÇALVES, 2009). Peck *et al.* (1999) definem o telhado verde como *“toda estrutura de telhado ou cobertura que agrega em sua composição, uma camada de solo e outra de vegetação, uma vez que seu sistema construtivo se baseia em uma técnica de aplicação de camadas”* (Figuras 3a e 3b).



(a) Telhado verde do Wayne Community College, Carolina do Norte, EUA.



(b) Telhado verde do Neuseway Nature Center, Carolina do Norte, EUA.

Figura 3 - Exemplos de telhados verdes. Fonte: Hathaway, Hunt & Jennings (2008).

2.3.1 Classificação dos telhados verdes

Os telhados verdes podem ser classificados em extensivos e intensivos, de acordo com alguns critérios, como por exemplo, a profundidade do substrato, os usos esperados e os

custos necessários à manutenção. Segundo Britto (2001), os telhados verdes extensivos podem ser chamados de coberturas ecológicas, com vegetação autóctone e suprimento de água e nutrientes a partir de processos naturais, enquanto que os telhados verdes intensivos são chamados de coberturas ajardinadas, com manutenção semelhante à de um jardim cultivado (Figuras 4a e 4b, 5a e 5b).



(a) Telhado verde intensivo. Fonte: <http://greenofficemakeover.com/green-roofs-and-green-walls-green-money-savers>



(b) Telhado verde extensivo. Fonte: <http://www.greenroofs.org/index.php>

Figura 4 - Exemplos de telhados verdes intensivo e extensivo

Nos telhados verdes intensivos podem ser utilizados vegetação de porte maior, requerendo um reforço na estrutura do telhado e da edificação, que deve ser capaz de suportar a carga do substrato e da vegetação, além de permitir o acesso de pessoas para manutenção (Figura 5a). Já nos telhados verdes extensivos, a carga a ser suportada pela estrutura da edificação é menor, já que a camada de substrato e a altura da vegetação são menores (Figura 5b).

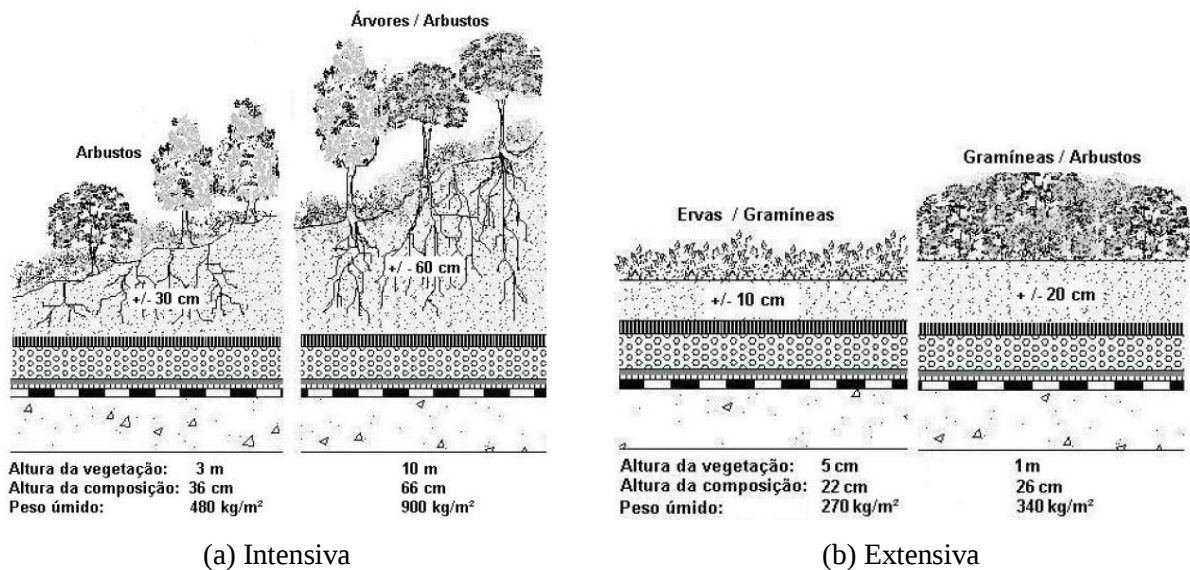


Figura 5 - Corte esquemático da cobertura verde. Fonte: *Planning Guide* (2000) apud Moraes (2004).

Segundo Carvalho (2007) e Gonçalves (2009), algumas das principais vantagens relacionadas ao uso de telhados verdes em edificações são: a redução do estresse térmico e da recepção de radiação ultravioleta da cobertura da edificação, proporcionando uma melhor conservação do material e da impermeabilização da cobertura; diminuição da carga térmica sobre a edificação, diminuindo a demanda pelo uso de equipamentos de climatização; retenção de água de chuva, diminuindo a sobrecarga no sistema de drenagem; redução da poluição do ar, através da absorção da radiação solar e transformação do CO₂ em O₂ pela fotossíntese e absorção de ruídos. Algumas características, vantagens e desvantagens de cada tipo de cobertura estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos telhados verdes conforme tipologia.

	Extensivo	Intensivo
Descrição	Camadas de solo delgadas, com espessura entre 8 e 12 cm; Plantas de pequeno porte e resistentes, como as autóctones ¹ ; Carga média equivalente a 100 kg/m ² ; Necessita de pouca ou nenhuma manutenção.	Camadas de solo maiores que 20 cm; Plantas, arbustos e árvores de médio e grande porte, que exigem um ambiente de desenvolvimento mais complexo; Estrutura reforçada (devido às cargas entre 700 e 1200 kg/m ²); Manutenção rigorosa; Sistema de irrigação.
Vantagens	Baixo peso; Apropriado para grandes áreas; Conveniente para coberturas com inclinação de 0 a 30°; Não requer sistemas de irrigação; Requer pouca perícia técnica; Adequado para restauração ou <i>retrofit</i> ² de edifícios; Permite desenvolvimento espontâneo da vegetação; Custo relativamente baixo; Aparência mais natural.	Maior diversidade de plantas; Boas propriedades de isolamento; Pode simular um jardim ao chão para os animais; Pode ser muito atrativo; Visualmente acessível com maior frequência; Diversas utilizações da cobertura (recreação, produção de alimentos, áreas livres).
Desvantagens	Escolha mais limitada de plantas; Normalmente não é acessível para recreação e outros usos; Não atrativo em algumas situações, principalmente no inverno.	Maior peso de carga na cobertura; Necessita de sistemas de drenagem e irrigação; Requer maiores quantidades de energia e água; Exige sistemas mais complexos e mais perícia técnica.

Fonte: Adaptado de Johnston & Newton (1996); Correa & González (2002), Morais (2004).

¹ Espécies nativas, originárias do próprio território onde habitam, sendo mais resistentes a pragas, doenças e períodos de estiagem ou chuvas prolongados, adaptadas às condições climáticas locais.

² Técnica que consiste em conservar a estrutura original da edificação, incorporando tecnologias modernas e materiais avançados.

2.3.2 Elementos construtivos dos telhados verdes

Os elementos que constituem um telhado com cobertura vegetal podem ser visualizados na Figura 6 e estão descritos a seguir.



Figura 6 - Esquema da estrutura básica de implantação de um telhado verde. Fonte: Oliveira, 2009.

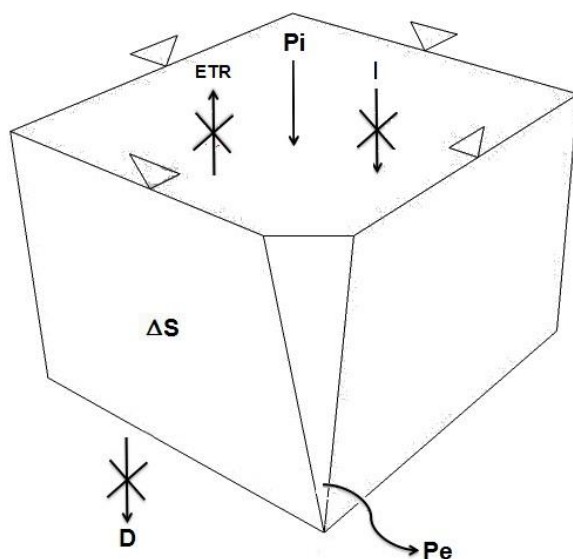
- **Laje** ou outro suporte estrutural, que deve ser dimensionada considerando-se a carga média a ser instalada sobre ela (demais elementos que compõem um telhado verde).
- **Impermeabilização**, cuja função é proteger a laje ou outro suporte estrutural contra infiltrações. Pode ser de material sintético ou betuminoso.
- **Camada drenante**, cuja função é dar vazão ao excesso de água no solo e que pode ser constituída por britas, seixos, argila expandida ou elementos à base de poliestireno. Segundo Moraes (2004), deve ter espessura entre 7 e 10 cm, variando em função da espessura da camada do substrato.
- **Meio filtrante**, cuja função é evitar o arraste de partículas do solo pela ação da água, fato que pode comprometer o sistema de drenagem. Segundo Moraes (2004), normalmente é utilizada a manta geotêxtil de 150 g/m². Entretanto, segundo Morgado (1995, *apud* MORAIS, 2004) a manta geotêxtil ideal é a de 200 g/m² e deve ser instalada acima da camada drenante, ao longo de toda a área de captação.
- **Camada de solo**, ou substrato, cuja espessura deve variar de acordo com a tipologia e as espécies a serem plantadas. Segundo Moraes (2004), não deve ser utilizado solo argiloso,

pois pode ser prejudicial ao sistema de drenagem. Além disso, deve ser conhecido o peso do substrato seco e úmido, para garantir a integridade da estrutura.

- **Camada de vegetação**, que deve ser a mais adaptada possível às condições climáticas do local onde será instalado (MORAIS, 2004; ARAÚJO, 2007). O ideal é que sejam utilizadas espécies nativas, observando-se alguns condicionantes: clima, tipo de solo, estrutura de suporte e tipo de manutenção (irrigação, fertilização). Na Figura 7 é apresentado um esquema da estrutura básica de um telhado verde.

2.3.3 Balanço hídrico do telhado verde

O balanço hídrico é uma ferramenta de avaliação quantitativa do volume da água do solo, baseado no princípio de conservação de massa para a água num volume de solo vegetado. A variação do armazenamento (ΔS), num intervalo de tempo, representa o balanço entre as entradas e saídas de água (Figura 7), onde é considerada como entrada a precipitação (P_i), e como saída o escoamento (P_e), onde para este caso, a evapotranspiração real (ETR), interceptação (I) e drenagem (D) são considerados nulos.



Legenda:

P_i é a precipitação;

P_e é o escoamento;

ETR é a evapotranspiração real;

I é a interceptação;

D é a drenagem.

Figura 7 - Volume de controle associado ao telhado verde indicando o sentido de movimento das componentes do ciclo hidrológico. Fonte: Santos (2011).

Sendo assim, e considerando o telhado verde como o sistema de análise, o balanço hídrico associado à análise do mesmo pode ser realizado com o emprego da Equação 2.1 que ajustado às considerações apresentadas passa a ser escrita como a Equação 2.2.

$$\Delta S = \sum \text{entradas} - \sum \text{saídas} \quad (2.2)$$

Onde:

ΔS é o armazenamento de água no teto verde [L], normalmente mm.

Como a chuva é expressa em milímetros, isto é, em litros de água por metro quadrado de superfície, realiza-se o balanço hídrico adotando-se uma área superficial de 1 m² para o volume de controle e este é considerado representativo de toda área em estudo, em função apenas da profundidade. Segundo Santos (2011), que simulou o escoamento nos telhados verdes estudados no âmbito desta pesquisa, para a contabilização do balanço hídrico do telhado verde, considera-se que o sistema em análise é delimitado pela superfície impermeável, laje. Considerando-se a discretização das variáveis no intervalo de tempo que vai de $(t - 1)$ a t , chega-se à Equação 2.3.

$$S_{(t)} - S_{(t-1)} = [P_{i(t)} - P_{i(t-1)}] - [P_{e(t)} - P_{e(t-1)}] \quad (2.3)$$

Onde:

P_i é a precipitação atmosférica [L], normalmente em mm;

P_e é o escoamento de água para fora do telhado verde [L], normalmente em mm.

2.3.4 Estado da Arte

Wong *et al.* (2003), Van Woert *et al.* (2005), Bengtsson, Grahm & Olsson (2005), Berndtsson, Emilsson & Bengtsson (2006), Teemusk & Mander (2007), Hathaway, Hunt & Jennings (2008), Gregoire & Clausen (2011), Parizotto & Lamberts (2011), entre outros autores, vêm desenvolvendo pesquisas com telhados verdes em todo o mundo, analisando dados de conforto térmico, retenção do escoamento pluvial, qualidade da água escoada do telhado entre outras linhas de pesquisa. Vários benefícios são apontados como decorrentes da utilização de telhados verdes em ambientes urbanos: redução do escoamento superficial, melhoria da qualidade da água, redução do efeito de “ilhas de calor”, criação de um *habitat* favorável ao desenvolvimento de biodiversidade, conservação de energia, redução de ruídos nos ambientes internos, além de ser agradável esteticamente (BERNDTSSON, 2010; DUNNETT & KINGSBURY, 2004; GETTER & ROWE, 2006; MENTENS, RAES & HERMY, 2006; OBERNDORFER *et al.*, 2007; ROWE & GETTER, 2010).

No que se refere ao desempenho térmico, Wong *et al.* (2003) compararam seis espécies de vegetação aplicadas em telhados verdes intensivos em Cingapura, país de clima

tropical, com relação ao desempenho térmico, com medições realizadas ao longo de 17 dias, encontrando reduções de temperatura no ambiente interno aos telhados verdes de até 4,2°C em relação ao telhado sem vegetação. Moraes (2004) comparou um telhado verde com grama e um telhado controle de laje, instalados no município de São Carlos, estado de São Paulo, cujo clima é o tropical de altitude, com verões chuvosos e invernos secos, e observou que a cobertura verde reduziu as flutuações térmicas diárias em cerca de 70% a mais que no telhado com laje comum, durante o inverno. No verão, observou que na superfície com vegetação a temperatura era em média 40% menor do que na superfície com laje. Parizotto & Lamberts (2011) analisaram a influência do telhado verde no desempenho térmico de uma edificação em Florianópolis, Brasil, situada em clima temperado. Foram analisadas informações de uma semana no período do verão e uma semana no período do inverno, e foi feita a comparação com telhados de telhas cerâmicas e de telhas metálicas. Observou-se que no ambiente com telhado verde ocorreu a diminuição da temperatura em relação ao ambiente externo e também a redução da amplitude térmica diária, comparado com os demais telhados. Segundo os autores, o telhado verde mostrou-se adequado para regiões de clima temperado.

Com relação à capacidade de retenção de água de chuva, MacMillan (2004), em estudo desenvolvido na Universidade de York (Estados Unidos), concluiu que a capacidade de retenção da água da chuva pelo telhado verde é diretamente afetada pelo grau de saturação do solo, que varia de acordo com o tipo de composto e com as condições climáticas do local. Concluiu também que os telhados verdes são mais eficientes em reter água durante a primavera e o verão. Van Woert *et al.* (2005) compararam três tipos de cobertura em Michigan com relação à retenção do escoamento durante 14 meses. No período observado, a temperatura do ar variou entre -9,9 e 34,2 °C e foram analisados 83 eventos chuvosos, sendo a precipitação acumulada durante o período de estudo de 556 mm. Observou-se que os telhados vegetados retiam 96,2% do volume precipitado em eventos leves (< 2 mm) contra 79,9% do telhado convencional. Já em eventos de chuvas mais fortes (> 6 mm), os telhados com vegetação conseguiram reter 52,4% contra 22,2% do telhado sem vegetação, ratificando os dados encontrados por MacMillan (2004), associando a intensidade da precipitação com o grau de saturação do solo. Bengtsson, Grahn & Olsson (2005), em estudo realizado na Suécia entre agosto de 2001 e julho de 2002, observaram que dos 719 mm precipitados durante o período de estudo, 49% foram retidos pelo telhado verde extensivo. Teemusk e Mander (2007), em pesquisa realizada com um telhado verde na Estônia no período de junho de 2004 a abril de 2005, verificaram que o telhado com vegetação é capaz de reter a precipitação de

maneira mais eficiente quando o substrato encontra-se seco e não ocorreram eventos chuvosos no período antecedente. Quanto maior o espaçamento entre os períodos chuvosos, maior a capacidade de retenção de água pelo telhado, cerca de 86%. Este valor cai para 33% quando os eventos chuvosos ocorrem sucessivamente. Simmons *et al.* (2008) avaliaram o desempenho hidrológico de seis telhados verdes extensivos no Texas. Verificou-se que em eventos de maior duração (49 mm, 140 min) a retenção do escoamento nos telhados verdes chega a 44%. Já em eventos de curta duração (11,9 mm, 25 min) chegou a 88% de retenção em relação ao volume precipitado. Palla, Gnecco & Lanza (2010) compararam os resultados obtidos em diversos estudos em relação ao potencial de retenção do escoamento dos telhados verdes e obtiveram os dados apresentados na Figura 8. Comparando os dados levantados, verifica-se que os telhados verdes são capazes de reter entre 40% e 80% do volume precipitado anualmente.

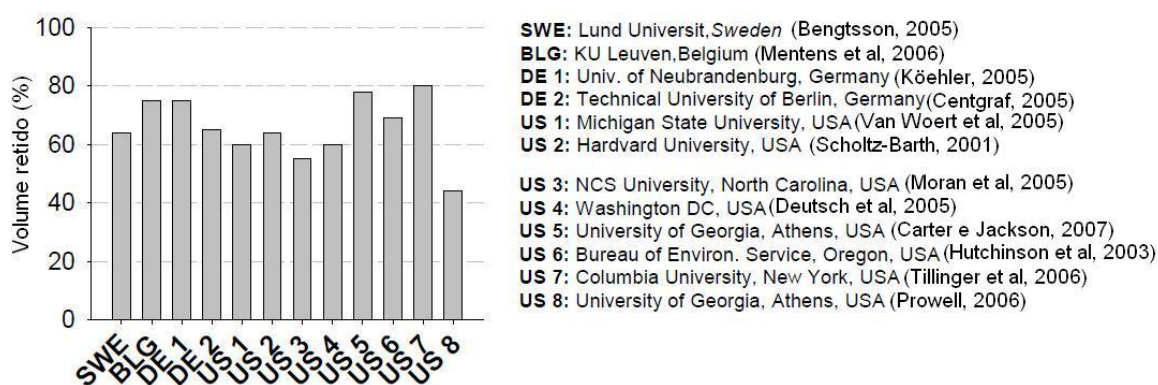


Figura 8 - Volumes anuais de água retidos em edificações com telhados verdes observados por Palla, Gnecco & Lanza (2010).

Gregoire & Clausen (2011) compararam um telhado verde extensivo com um telhado controle, em Connecticut, Estados Unidos, em relação à capacidade de retenção e à qualidade da água. Foi observado que o telhado verde foi capaz de reter cerca de 41% da precipitação durante o período estudado (setembro de 2009 a fevereiro de 2010), que foi de 481 mm. Santos (2011), em pesquisa realizada no município de Caruaru, Pernambuco, observou que o tipo de vegetação e a granulometria do solo exercem importante influência no escoamento superficial, retardando seu início. Persch, Tassi & Allasia (2011) compararam um telhado verde estruturado em módulos pré-fabricados de telhas de EVA e aglomerante com um telhado convencional com telhas de fibrocimento, em relação à qualidade da água e à retenção do escoamento pluvial. Observou-se que o telhado verde conseguiu reduzir significativamente

o escoamento pluvial, com minimização dos volumes escoados em aproximadamente 40% em média, quando comparado ao escoamento ocorrido no telhado convencional. Verificou-se também, que a eficiência do telhado verde em reduzir o escoamento superficial é influenciada pela condição de umidade antecedente do solo e pelo volume de chuva precipitado.

No que diz respeito à qualidade da água escoada do telhado verde, MacMillan (2004) verificou que a água proveniente do telhado verde apresentou concentrações maiores de fósforo total, fosfato e alguns metais quando comparados com um telhado convencional. Entretanto, o telhado verde diminuiu a quantidade de sólidos suspensos e a concentração de complexos nitrogenados. Berndtsson, Emilsson & Bengtsson (2006) avaliaram a influência de um telhado verde extensivo na qualidade da água escoada. O estudo desenvolvido na Suécia analisou a presença de metais pesados (Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Pb, e Zn) e nutrientes ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, N total, $\text{PO}_4\text{-P}$, e P total) na água proveniente do telhado, afim de verificar a influência do substrato, do uso de fertilizantes e da idade da vegetação. Verificou-se que os telhados com vegetação se comportam como uma fonte de fósforo e potássio e um dissipador de nitrogênio. Em relação aos metais analisados, as concentrações encontradas na água escoada dos telhados podem ser comparadas com as da água proveniente do escoamento superficial urbano. Kosareo & Ries (2007) compararam o desempenho de um telhado convencional com um telhado verde extensivo e outro intensivo em relação à retenção do escoamento e alguns parâmetros de qualidade da água. A redução de metais presentes na água proveniente dos telhados verdes foi calculada com base nos resultados obtidos por Köhler *et al.* (2002) Os resultados são apresentados na Tabela 2. Observa-se que os telhados verdes apresentam parâmetros de saída menores em relação ao telhado controle.

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade e quantidade do escoamento para três opções de telhados.

Parâmetro*	Telhado Controle	Telhado verde extensivo	Telhado verde intensivo
Redução do escoamento	33%	60%	85%
Chumbo (g)	15	9	3
Zinco (g)	25	15	6
Cádmio (g)	0,15	0,08	0,03
Cobre (g)	100	60	20

* Massa de poluente no escoamento do telhado por ano com base na precipitação média anual 940 mm.

Fonte: Kosareo & Ries (2007)

Hathaway, Hunt & Jennings (2008) identificaram que a presença de macronutrientes inorgânicos (nitrogênio e fósforo) na água captada de telhados verdes é devido principalmente ao substrato utilizado. Verificaram também a eficiência do telhado como superfície de

retenção de água de chuva. Em relação à qualidade da água, os dados obtidos por Gregoire & Clausen (2011) mostraram que o telhado verde apresentou concentrações de fósforo total e fosfato maiores do que na água de chuva, devido ao substrato e ao fertilizante utilizado. Os estudos de Persch, Tassi & Allasia (2011) indicaram que a água resultante do escoamento pluvial no telhado verde apresentou maior cor e matéria orgânica dissolvida do que o telhado convencional, estando associados principalmente à distribuição temporal dos eventos chuvosos. Os resultados qualitativos obtidos por Persch, Tassi & Allasia (2011) estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Características qualitativas do monitoramento.

Parâmetros	Telhado verde	Telhado convencional
pH	6,918	7,789
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	377	69,6
Turbidez (NTU)	1,8	1,7
Sólidos suspensos (mg/L)	3,5	6,9
Sólidos suspensão voláteis (mg/L)	30,7	22,2
Sólidos totais (mg/L)	352,8	100,9
Cloretos (mg Cl^-/L)	2,5	1,25

Fonte: Persch, Tassi & Allasia (2011).

A partir do levantamento bibliográfico realizado, é possível afirmar que a utilização de telhados verdes traz diversos benefícios relacionados principalmente ao conforto térmico e à retenção de água de chuva. Entretanto, a possibilidade de aproveitamento da água captada de um telhado verde é um tema relevante para a região do semiárido que apresenta situação de escassez hídrica, podendo se tornar uma alternativa para economia de água potável, visto que, conforme apresentado na revisão de literatura, as alterações em termos de qualidade da água estão relacionadas principalmente ao tipo do substrato utilizado. De acordo com os resultados apresentados na literatura científica, o uso de fertilizantes também interfere na qualidade da água, causando alterações principalmente nos parâmetros fósforo e nitrogênio. Em centros urbanos, onde a poluição atmosférica é maior que em áreas rurais, o uso de telhados verdes pode contribuir para diminuição da concentração de metais na água de chuva, conforme indicado por Kosareo & Ries (2007).

2.4 Indicadores de qualidade da água

Para definir a forma de utilização ou o tratamento mais adequado para a água, caso seja necessário, é preciso conhecer as características da mesma que possam indicar

contaminação ou poluição. Para definição dos parâmetros a serem analisados no âmbito desta pesquisa, tomou-se como base:

- Os parâmetros físico-químicos de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis, e sem utilização de compostos de cloro para desinfecção, apresentados na Tabela 1 (cor aparente, pH e turbidez) da NBR 15.527/2007 que dispõe sobre os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Esta Norma se aplica a usos não potáveis em que as águas de chuva podem ser utilizadas após tratamento adequado como, por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais.
- Alguns parâmetros considerados na avaliação da qualidade da água para a irrigação (pH, CE, SDT, cloretos, amônia, fósforo), que de acordo com a publicação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010).
- Os parâmetros físicos estabelecidos para o padrão mínimo de lançamento do efluente do sistema local de tratamento de esgoto em galerias de águas pluviais, que estão apresentados na Tabela 5 (pH, temperatura e OD) da NBR 13.969/1997 que dispõe sobre o projeto, a construção e a operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos, bem como os parâmetros (pH, SDT e turbidez) que definem as possibilidades de reuso recomendadas conforme as classes de classificação estabelecidas.
- Alguns parâmetros físico-químicos estabelecidos para o padrão organoléptico de potabilidade que estão apresentados no Anexo X (amônia, cloreto, cor aparente, dureza total, ferro, SDT e turbidez) e para o padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde que estão apresentados no Anexo VII (nitrito e nitrato) da Portaria do Ministério da Saúde 2.914/2011 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Apresenta-se no Quadro 3 um resumo dos parâmetros estabelecidos em cada legislação citada, com seus respectivos limites, bem como a identificação dos que foram monitorados nesta pesquisa.

A forma como a presença e/ou concentração dos parâmetros, que foram analisados nesta pesquisa, interferem na qualidade da água está descrito sucintamente a seguir.

Quadro 3 – Parâmetros estabelecidos na legislação e respectivos limites.

Parâmetro	Limites estabelecidos				Investigado
	NBR 15.527 (Tabela 1)	NBR 13.969	Portaria MS 2.914	Embrapa	
Alcalinidade	-	-	-	-	Sim
Alumínio	-	-	0,2 mg/L*	-	Não
Amônia	-	-	1,5 mg/L*	5 mg/L	Sim
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	-	-	-	10 meq/L	Não
Boro	-	-	-	2 mg/L	Não
Cálcio	-	-	-	20 meq/L	Não
Carbonatos (CO ₃ ²⁻)	-	-	-	0,1 meq/L	Não
Cloreto	-	-	250 mg/L*	30 meq/L	Sim
Cloro residual livre	0,5 a 3,0 mg/L	< 0,5 mg/L ⁵ 0,5 a 1,5 mg/L ¹ > 0,5 mg/L ²	-	-	Não
Coliformes fecais	-	200 NMP/100mL ¹ 500 NMP/100mL ^{2,3} 5000 NMP/100mL ⁴	-	-	Não
Coliformes term.	-/100mL	-	-	-	Não
Coliformes totais	-/100 mL	-	-	-	Não
CE	-	-	-	3,0 dS/m	Sim
Cor aparente	15 uH	-	15uH*	-	Sim
DBO _{5,20}	-	60 mg/L ⁵	-	-	Não
DQO	-	150 mg/L ⁵	-	-	Não
1,2 diclorobenzeno	-	-	0,01 mg/L*	-	Não
1,4 diclorobenzeno	-	-	0,03 mg/L*	-	Não
Dureza total	-	-	500 mg/L*	-	Sim
Etilbenzeno	-	-	0,2 mg/L*	-	Não
Ferro	-	-	0,3 mg/L*	-	Sim
Fósforo - Fosfato	-	-	-	2 mg/L	Sim
Gosto e odor	-	-	6 intensidade*	-	Não
Magnésio	-	-	-	5 meq/L	Não
Manganês	-	-	0,1 mg/L*	-	Não
Monoclorobenzeno	-	-	0,12 mg/L*	-	Não
Nitrogênio - Nitrato	-	-	10 mg/L**	10 mg/L	Sim
Nitrogênio - Nitrito	-	-	1 mg/L**	-	Sim
OD	-	> 1,0 mg/L ⁵ > 2,0 mg/L ⁴	-	-	Sim
Óleos e graxas	-	50 mg/L ⁵	-	-	Não
pH	6,0 a 8,0 ^a	6,0 a 9,0 ⁵ / 6,0 a 8,0 ¹	-	6,0 a 8,5	Sim
Potássio	-	-	-	2 mg/L	Não
Sódio	-	-	200 mg/L*	40 meq/L	Não
SDT	-	200 mg/L ¹	1000 mg/L*	2000 mg/L	Sim
Sol. Não FT	-	50 mg/L ⁵	-	-	Não
Sólidos sedim.	-	0,5 mg/L ⁵	-	-	Não
Sulfato	-	-	250 mg/L*	20 meq/L	Não
Sulfeto de hidrog.	-	-	0,1 mg/L*	-	Não
Surfactantes	-	-	0,5 mg/L*	-	Não
Temperatura	-	40°C ⁵	-	-	Sim
Tolueno	-	-	0,15 mg/L*	-	Não
Turbidez	2 uT ^b / 5 uT	5 uT ^{1,2} / 10 uT ³	5 uT*	-	Sim
Zinco	-	-	5 mg/L*	-	Não
Xilenos	-	-	0,3 mg/L*	-	Não

^aNo caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado | ^bPara usos menos nobres | *Anexo X | **Anexo VII.

¹Classe 1 | ²Classe 2 | ³Classe 3 | ⁴Classe 4 | ⁵Tabela 5 | CE = Condutividade Elétrica; Coliformes term. = Coliformes termotolerantes; OD = Oxigênio dissolvido; SDT = Sólidos dissolvidos totais; Sol. Não FT = Sólidos não filtráveis totais; Sólidos sedim. = Sólidos sedimentáveis; Sulfeto de hidrog. = Sulfeto de hidrogênio.

2.4.1 Cor

A cor de uma amostra de água está associada à presença de sólidos dissolvidos de origem orgânica, principalmente os ácidos húmicos e fúlvicos resultantes da decomposição da matéria orgânica. A cor pode ser classificada em cor aparente e cor verdadeira. A cor aparente inclui uma parcela de sólidos em suspensão, que estão relacionados com a turbidez, e a cor verdadeira considera apenas as partículas dissolvidas, com diâmetro inferior a 1 µm. Em termos de saúde pública e abastecimento humano, a cor não apresenta riscos ao consumo, além da rejeição estética pelos consumidores.

Com relação ao uso para o consumo humano, de acordo com o Anexo X (Tabela de padrão organoléptico de potabilidade) da Portaria Nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde - MS, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água e seu padrão de potabilidade, estabelece que o valor máximo permitido para a cor aparente é 15 uH (Unidade Hazen – mg Pt–Co/L). Este valor é o mesmo adotado na Tabela 1 da NBR 15.527/2007 para usos mais restritivos de aproveitamento de água de chuva.

2.4.2 Turbidez

A turbidez está relacionada à presença de sólidos em suspensão, ou seja, partículas não solúveis em água, como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e algas e outros microorganismos. Em águas de chuva captadas de telhados, a turbidez é maior se forem considerados os primeiros instantes de chuva, já que os telhados acumulam sólidos em suspensão que são carregados no primeiro momento do evento chuvoso (MAY, 2008). Segundo o Manual Prático de Análise de Água, publicado pela FUNASA (2009), a turbidez tem sua importância no processo de tratamento da água, pois a água com turbidez elevada, dependendo de sua natureza, forma flocos pesados que decantam mais rapidamente do que água com baixa turbidez. Nesta publicação faz-se diferença ainda às suas desvantagens como no caso da desinfecção que pode ser dificultada pela proteção que pode dar aos microorganismos no contato direto com os desinfetantes, sendo, portanto, um indicador sanitário e padrão de aceitação da água de consumo humano.

De acordo com o Anexo X da Portaria Nº 2.914/2011 do MS e a Tabela 1 da NBR 15.527/2007 para usos mais restritivos de aproveitamento de água de chuva, o valor máximo permitido para a turbidez é 5 uT (Unidade de Turbidez). Com relação à NBR 13.969/1997, o valor de turbidez é um dos limitantes aplicados na classificação da água para recomendação de reuso, de forma que valores de turbidez inferiores a 5 uT correspondem às

classes 1 e 2, e valores inferiores a 10 uT correspondem à classe 3, sendo que para a classe 4 não delimitação deste parâmetro.

2.4.3 pH

O pH, ou potencial hidrogeniônico, representa a concentração de íons hidrogênio H^+ resultante inicialmente da dissociação da própria molécula da água, podendo ser acrescido pelo hidrogênio proveniente de outras fontes. O pH igual a 7 indica uma condição de neutralidade, já o pH menor que 7 indica condições ácidas, enquanto o pH maior que 7 indica condições básicas. Diversos fatores podem interferir no pH, podendo ser de origem natural ou antropogênica. De origem natural, podemos citar a dissolução de rochas, a absorção de gases da atmosfera, a oxidação da matéria orgânica e a fotossíntese (VON SPERLING, 2005). De origem antropogênica destacam-se o despejo de efluentes domésticos e industriais. No que se refere à água escoada dos telhados verdes, os valores obtidos para este parâmetro podem limitar seu emprego na irrigação do próprio sistema, uma vez que o pH interfere no crescimento da planta devido ao seu efeito na disponibilidade de nutrientes, em especial de microelementos (WALLER & WILSON, 1984; BAILEY, NELSON & FONTENO, 2000; HANDRECK & BLACK, 1999), além disso, diferentes valores de pH podem afetar atividades fisiológicas, como a germinação e o enraizamento da cobertura vegetal. De acordo com Ayers & Wescot (1999), a faixa de pH considerada normal para a água de irrigação está entre 6,5 e 8,4. Neste contexto, de acordo com Antas (2011), a elevação do pH do solo diminui a disponibilidade da maioria dos nutrientes para as culturas e proporciona perda de nitrogênio na forma de amônia.

No que se refere à legislação citada, de acordo com a Tabela 1 da NBR 15.527/2007, os valores aceitáveis para este parâmetro encontram-se na faixa de 6,0 a 8,0. De acordo com a Tabela 5 da NBR 13.969/1997 os limites inferior e superior são 6,0 e 9,0, respectivamente; por outro lado, no âmbito desta norma, o valor de pH é um dos limitantes aplicados na classificação da água para recomendação de reuso, de forma que valores entre 6,0 e 8,0 correspondem à classe 1, sendo que para as classes 2, 3 e 4 não há delimitação deste parâmetro. Segundo a publicação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), o valor recomendado está entre 6 e 8,5.

2.4.4 Alcalinidade

A alcalinidade de uma amostra de água pode ser definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com um ácido forte até um valor definido de pH e se deve principalmente à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, provenientes da dissolução de rochas, da reação do CO₂ com a água (CO₂ que pode ser oriundo da atmosfera ou da decomposição de matéria orgânica) e ainda de despejos de efluentes industriais. O bicarbonato é o principal composto que confere alcalinidade à água. No Quadro 4 são mostradas as faixas de pH e os respectivos compostos que aparecem em cada faixa.

Quadro 4 - Compostos que conferem alcalinidade às águas de acordo com as faixas de pH.

Faixa de pH	pH > 9,4	9,4 > pH > 8,3	8,3 > pH > 4,4
Componentes da alcalinidade	Hidróxidos e carbonatos	Carbonatos e bicarbonatos	Apenas bicarbonato

Fonte: Von Sperling (2005).

Em concentrações moderadas, os compostos que conferem alcalinidade às águas não resultam em restrição ao consumo humano. Em níveis elevados, entretanto, tais compostos podem conferir sabor desagradável. De acordo com Egreja Filho, Maia & Moraes (1999), a alcalinidade excessiva na fertirrigação pode criar uma série de inconvenientes, que vão desde o entupimento dos emissores, pela precipitação de carbonatos e fosfatos, até a redução da disponibilidade de micronutrientes para as culturas. Segundo Whipper *et al.* (1996 apud ANTAS, 2011), amônia, borato, bases orgânicas, fosfatos e silicatos também podem contribuir para a alcalinidade, e os íons carbonatos e bicarbonatos podem ter efeito tóxico para o crescimento das plantas. De acordo com Maia (1996 apud ANTAS, 2011), esse efeito pode ocorrer mais pela interferência na absorção de elementos essenciais pelas raízes e associado ao aumento no pH na solução do solo, do que pela absorção direta dos íons carbonatos e bicarbonatos pelas plantas. Além disso, de acordo com Maia & Rodrigues (2012), o acúmulo de carbonato/bicarbonato, principalmente de cálcio, pela água de irrigação, pode provocar o processo de cimentação no solo, podendo ocorrer depois de um período de 5-7 anos de irrigação, que dificulta a penetração da água de irrigação e das raízes.

Considerando sua importância para o cultivo da cobertura vegetal, e sendo a irrigação da cobertura vegetal uma possibilidade de uso para a água escoada do telhado verde, apesar de não constar nas legislações citadas, este parâmetro foi monitorado nesta pesquisa.

2.4.5 Dureza total

A dureza total é um parâmetro que está associado à presença de cátions, principalmente os bivalentes cálcio e magnésio (Ca^{+2} e Mg^{+2}), sendo que a principal fonte de dureza nas águas é a passagem da mesma pelo solo, devido à dissolução de minerais, da rocha calcárea, por exemplo. De acordo com Sawyer *et al.* (1994 apud ANTAS, 2011), as concentrações desses cátions permitem classificar a água em: mole (dureza menor que 50 mg/L CaCO_3); moderada (dureza entre 50 e 150 mg/L CaCO_3); dura (entre 150 e 300 mg/L CaCO_3); muito dura (maior que 300 mg/L CaCO_3).

Em termos de saúde pública, o consumo de água dura pode provocar um efeito laxativo, além do sabor desagradável. Segundo Piveli & Kato (2005) existem indícios do aumento da incidência de cálculo renal nos habitantes de cidades abastecidas com águas duras. Entretanto, estes indícios por si só não restringem o uso das águas duras no abastecimento público, uma vez que a remoção da dureza pode ser um processo oneroso e pouco eficiente. Por outro lado, a ocorrência de água dura dificulta o banho e a lavagem de utensílios domésticos e roupas, devido à dificuldade de formação de espuma. De acordo com o Anexo X da Portaria Nº 2.914/2011 do MS, o valor máximo de dureza total permitido para a água potável é de 500 mg/L em termos de CaCO_3 .

2.4.6 Cloretos

A origem do ânion cloreto (Cl^-) pode ser natural ou antrópica, sendo as principais fontes naturais a dissolução de minerais e a intrusão de águas salinas (em regiões costeiras), e de origem antrópica as principais fontes são os despejos domésticos e industriais (VON SPERLING, 2005) e do retorno de águas de irrigação.

Embora em quantidades razoáveis não sejam prejudiciais à saúde humana, a presença de cloretos transmite à água sabor salgado repulsivo, além disso, cloretos de cálcio e magnésio causam dureza. De acordo com Ayers & Westcot (1999), no que se refere à qualidade de água para irrigação, o cloreto está ligado a problemas de salinidade do solo e toxicidade de plantas, sendo nesse último aspecto o íon de maior relevância. Os autores afirmam ainda que o cloreto não é retido nem adsorvido pelas partículas do solo, em que se desloca com facilidade juntamente com a água, porém, é absorvido pelas plantas e transportado para as folhas onde se acumula pela transpiração. Segundo Antas (2011), caso sua concentração exceda a tolerância da planta, produzem-se danos como necroses e queimaduras em folhas.

De acordo com o Anexo X da Portaria Nº 2.914/2011 do MS, o valor máximo de cloretos permitido para a água potável é de 250 mg/L, e segundo a publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), o valor de cloretos está limitado a 30 meq/L, que multiplicando pelo peso químico equivalente dos íons, baseado nos Pesos Atômicos Internacionais de 1957 (COSTA FILHO, 1997) de, neste caso, 35,46, equivale a 1.063,80 mg/L.

2.4.7 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica (CE) é a capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica e está associada à presença de íons. Os íons que são, geralmente, responsáveis pelos valores de condutividade elétrica em águas são Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ; HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , entre outros. O parâmetro condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode ser um indicador importante de possíveis fontes poluidoras (ZUIN, IORIATTI & MATHEUS, 2009). De acordo com Bernardo, Soares & Mantovani (2006), em virtude de sua facilidade e rapidez de determinação, a CE tornou-se o procedimento padrão a fim de expressar a concentração total de sais para classificação e diagnose das águas destinadas à irrigação.

O excesso de sais na água de irrigação pode causar acúmulo de sais no solo, o que influi na absorção e movimento da água e no desenvolvimento das plantas, reduzindo o potencial osmótico de sua solução e, conseqüentemente a disponibilidade de água para as plantas. Segundo Ayers & Westcot (1999), as culturas respondem de forma diversificada à salinidade, algumas produzem rendimentos aceitáveis a níveis altos de salinidade, e outras são sensíveis a níveis relativamente baixos, cuja diferença se deve à melhor adaptação osmótica apresentada por algumas culturas, o que permite absorver, mesmo em condições de salinidade, maior quantidade de água. Neste contexto, o uso de água salina, além de afetar o rendimento da planta, proporciona redução no seu crescimento, influenciando na evapotranspiração da cultura (ALLEN *et al.*, 1998 apud ANTAS, 2011), o que compromete o uso da água do telhado verde para fins de irrigação do mesmo, na ocorrência de valores elevados desse parâmetro. Segundo Andrade Júnior *et al.* (2006), águas que apresentam condutividade maior que 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ têm seu uso restrito para a irrigação.

De acordo com a publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), o valor máximo aceitável de condutividade elétrica é de 3 dS/m ou seja, 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.4.8 Ferro

O ferro pode ser encontrado na forma solúvel e insolúvel, sendo a principal origem do ferro em águas a passagem da mesma pelo solo, provocando a dissolução de compostos (VON SPERLING, 2005). Embora não seja tóxico deve ser monitorado, pois sua presença confere cor e sabor à água, tornando-a inadequada para consumo humano. Além disso, pode causar manchas em aparelhos sanitários e em roupas durante a lavagem, o que pode comprometer a destinação da água para uso doméstico.

De acordo com o Anexo X da Portaria Nº 2.914/2011 do MS, o valor máximo de ferro permitido para a água potável é de 0,3 mg/L, sendo que este mesmo documento permite a ocorrência de valores superiores a este, desde que sejam observados os seguintes critérios: o elemento ferro esteja complexado com produtos químicos comprovadamente de baixo risco à saúde; os valores máximos permitidos dos demais parâmetros do padrão de potabilidade não sejam violados; e a concentração de ferro não ultrapasse 2,4 mg/L.

2.4.9 Nitrogênio

O nitrogênio pode ser encontrado no meio aquático nas formas de nitrogênio molecular (N_2), amônia (NH_3 ou NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), sendo que a determinação da forma predominante é um indicativo do estágio de poluição em que a água se encontra. As principais fontes de nitrogênio em águas naturais são os esgotos domésticos e industriais, a própria atmosfera e o escoamento superficial tanto em áreas urbanas como em áreas rurais, já que os fertilizantes apresentam quantidades significativas deste nutriente. Em superfícies de captação como os telhados, a presença de nitrogênio na água armazenada pode estar relacionada aos excrementos de animais.

O nitrogênio molecular (N_2) está presente na atmosfera em grande quantidade (aproximadamente 80%), mas, de acordo com Lessa (2007), não pode ser fixado pela maioria dos seres vivos, com exceção de algumas bactérias, dentre as quais as algas cianofíceas.

A amônia é a forma mais reduzida de nitrogênio orgânico em água, embora seja somente um pequeno componente no ciclo total do nitrogênio, esta contribui para a fertilização da água tendo em vista que o nitrogênio é um essencial nutriente para as plantas. De acordo com Alaburda & Nishira (1998), a amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido à sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato, sendo que a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo.

O nitrogênio na forma de nitrito, quando presente na água de consumo humano, tem um efeito mais rápido e pronunciado do que o nitrato. Neste contexto, Alaburda & Nishira (1998) afirmam que, se o nitrito for ingerido diretamente, pode ocasionar metemoglobinemia, um tipo de distúrbio hematológico, independente da faixa etária do consumidor.

Níveis elevados de nitrato indicam que a poluição pode estar ocorrendo há algum tempo, visto que este é o produto final da oxidação do nitrogênio (poluição recente – nitrogênio amoniacal ou orgânico e poluição remota – nitrito ou nitrato). Apesar de ocorrerem normalmente em baixos teores, o nitrato é um dos íons mais encontrados em águas naturais e o seu consumo através das águas de abastecimento está associado a dois efeitos adversos à saúde: a indução à metemoglobinemia, especialmente em crianças, e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas. Segundo Alaburda & Nishira (1998), o desenvolvimento da metemoglobinemia a partir do nitrato nas águas potáveis depende da sua conversão bacteriana para nitrito durante a digestão, o que pode ocorrer na saliva e no trato gastrointestinal. Alaburda & Nishira (1998) e Von Sperling (2005) chamam a atenção à ocorrência do nitrato para a saúde pública e afirmam que as crianças pequenas, principalmente as menores de três meses de idade, são bastante susceptíveis ao desenvolvimento desta doença devido às condições mais alcalinas do seu sistema gastrointestinal, fato também observado em pessoas adultas que apresentam gastroenterites, anemia, porções do estômago cirurgicamente removidas e mulheres grávidas.

No que se refere à legislação analisada nesta pesquisa, de acordo com o Anexo X da Portaria Nº 2.914/2011 do MS, o valor máximo de amônia permitido para a água potável é de 1,5 mg/L; de acordo com o Anexo VII desta mesma Portaria dos valores máximos de nitrato e nitrito para a água potável são 10 mg/L e 1 mg/L, respectivamente; e segundo a publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), o valor máximo aceitável de nitrato é 10 mg/L e de amônia é 5 mg/L.

2.4.10 Fósforo

De acordo com Pellegrini (2005), o sistema de cultivo adotado influencia grandemente nas quantidades de sedimento e fósforo transferidos aos sistemas aquáticos. Segundo o autor, nos sistemas de produção agrícola que utilizam aplicações maciças e freqüentes de fertilizantes fosfatados ocorre um acúmulo de fósforo na superfície do solo, especialmente se não for feito o revolvimento do solo.

O fósforo presente nas águas pode ser de origem natural ou antrópica, sendo as principais fontes naturais a dissolução de compostos do solo e a decomposição da matéria

orgânica e de origem antrópica, os efluentes domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes carregados através do escoamento superficial. O fósforo pode se apresentar nas águas nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico, sendo que este último provém das excreções humanas e de animais, bem como de restos de alimentos. Quando os compostos orgânicos sofrem decomposição biológica, dão origem a ortofosfatos. Já os polifosfatos têm origem, principalmente, nos detergentes (FARIA *et al.*, 2007).

De acordo com a publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), o valor máximo aceitável de fosfato é de 2 mg/L.

2.4.11 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é um indicador do grau de poluição da água, ou seja, a ocorrência de baixas concentrações de OD na água indica que a mesma está poluída, pois está havendo o consumo do oxigênio por processos químicos e/ou biológicos de oxidação da matéria orgânica. O consumo de oxigênio pela matéria orgânica proveniente do lançamento de efluentes pode, dependendo da capacidade de autodepuração do corpo d’água, reduzir a concentração de oxigênio a valores mínimos, causando a morte dos organismos aeróbios presentes no ecossistema aquático.

No que se refere à legislação citada, de acordo com a Tabela 5 da NBR 13.969/1997, que dispõe sobre o projeto, a construção e a operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos, a quantidade mínima de oxigênio dissolvido para destinação direta à galeria de água pluviais deve ser de 1,0 mg/L. No âmbito desta norma, a concentração de OD é um dos limitantes aplicados na classificação da água para recomendação de reuso, de forma que valores maiores que 2,0 mg/L deste parâmetro atendem à exigência para consideração como classe 4, sendo que para as classes 1, 2 e 3 não delimitação deste parâmetro.

2.4.12 Temperatura

A temperatura é um dos principais parâmetros para monitoramento da qualidade da água, uma vez que variações no mesmo podem interferir nas reações físicas, químicas e biológicas.

No que se refere à legislação citada, de acordo com a Tabela 5 da NBR 13.969/1997, que dispõe sobre o projeto, a construção e a operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos, a temperatura limite para destinação direta à galeria de águas pluviais deve ser de 40°C.

2.4.13 Sólidos Dissolvidos Totais

Os sólidos dissolvidos incluem os coloides e os efetivamente dissolvidos. Excesso de sólidos dissolvidos na água pode resultar em alterações de sabor. Em águas utilizadas para irrigação, pode gerar problemas de salinização do solo. Sendo a cor verdadeira causada por sólidos dissolvidos, não é possível ter-se cor verdadeira elevada e baixa concentração de sólidos dissolvidos.

No que se refere à legislação citada, de acordo com a NBR 13.969/1997, o valor de sólidos dissolvidos totais é um dos limitantes aplicados na classificação da água para recomendação de reuso, de forma que o valor máximo de 200 mg/L corresponde à classe 1, sendo que para as classes 2, 3 e 4 não há delimitação deste parâmetro. Segundo o Anexo X da Portaria Nº 2.914/2011 do MS, o valor máximo de sólidos dissolvidos totais permitido para a água potável é de 1000 mg/L; e segundo a publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), o valor máximo aceitável de sólidos dissolvidos totais é de 2000 mg/L.

2.4.14 Qualidade da água de chuva

Para a definição dos possíveis usos para a água de chuva captada através de uma superfície é necessário conhecer a qualidade da mesma. Segundo May (2008), vários fatores interferem na qualidade da água: localização do ponto de coleta, presença ou não de vegetação, condições meteorológicas e presença de carga poluidora no meio atmosférico e na própria superfície de captação. O autor apresenta um estudo sobre as características da água de chuva obtidas em diferentes pesquisas (Tabela 3).

Após escorrer pelo sistema (superfície e dutos) de captação, dependendo dos materiais utilizados na confecção do mesmo, a contaminação pode ser ainda maior, por exemplo, fezes e restos de animais, poeiras, folhas de árvores, revestimento da superfície de captação (normalmente o telhado), etc. Neste contexto, inclusive, recomenda-se o rejeito de um volume inicial da água captada pelo sistema, que é função do tipo de material do telhado e da quantidade de contaminação, que segundo Andrade Neto (2003), se dá na superfície de captação, devido à presença de animais mortos, de fezes de aves e roedores, de folhas e detritos, poeira e microorganismos.

Tabela 3 - Média dos resultados obtidos com a caracterização das água de chuva em diferentes pesquisas.

Referência	Média dos parâmetros											
	pH	Cor aparente (uC)	Turbidez (NTU)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Dureza total (mg/L)	ST* (mg/L)	SST** (mg/L)	SDT*** (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Coliformes totais (NMP/100mL)
Paiva <i>et al.</i> (1994)	4,5	-	-	22,4	6,7	-	-	-	-	38,7	-	-
Rocha <i>et al.</i> (1998)	5,2	-	-	25	-	-	-	-	-	21	-	-
Adhityan (1999)	4,1	8,7	4,6	-	-	0,1	-	9,1	19,5	-	92,0	6,7
Appan (1999)	4,1	-	5,1	-	-	-	-	9,0	-	-	7,8	-
Fornaro e Gutz (2000)	4,7	-	-	10	2,9	-	-	-	-	16	-	-
May (2004)	6,7	25,2	0,9	5,3	0,4	-	30	1	19	5,6	presença	54
Fonini; Fernandes e Pizzo (2004)	7,7	Ausente	1,7	-	-	19,3	-	12,5	-	-	-	70
Philippi (2005)	7,9	37,1	-	-	-	-	-	2,5	-	-	23,9	-

Fonte: Adaptado de May (2008).

* Sólidos totais; ** Sólidos suspensos totais; *** Sólidos dissolvidos totais.

Observações:

- 1 Unidade de Cor (uC) = 1 unidade Hazen (uH) = 1 mg Pt Co/L.
- 1 Nefelometric Turbidity Unit (NTU) = 1 Formazine Turbidity Unit (FTU) = 1 Unidade de Turbidez (uT).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os telhados verdes utilizados para a realização desta pesquisa foram instalados com recursos do projeto “Estimativa do balanço hídrico para determinação do telhado verde como superfície de controle”, com fomento da Propesq/UFPE, conforme processo PQ N° 23076.017715/2006-17, e o projeto que tratou do “Manejo Sustentável de Águas Pluviais Urbanas”, com fomento do MCT/Finep, conforme Contrato FINEP N° 0.1.06.0554.00 (Convênio Referência 1233/06), com base na metodologia adotada em outros experimentos semelhantes no Brasil e no mundo. Neste capítulo serão abordados os procedimentos metodológicos adotados durante o desenvolvimento da pesquisa.

3.1 Área de estudo

3.1.1 Aspectos geográficos

A área de estudo está localizada na região Agreste do estado de Pernambuco no Nordeste do Brasil e compreende o município de Caruaru, microrregião do Vale do Ipojuca, onde está instalado o experimento de telhados verdes (Figura 9). A região Agreste está inserida na região do semiárido brasileiro que, segundo a Lei nº 7.827, de 27 de setembro de 1989, é “a região natural inserida na área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - Sudene, definida em portaria daquela Autarquia” (PEREIRA JÚNIOR, 2007). Em 2005, o Ministério da Integração Nacional coordenou um grupo de estudos para realizar a nova delimitação do semiárido brasileiro, levando em consideração três critérios técnicos: i) precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros (isoieta de 800 mm); ii) Índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as 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 (SDR/MI, 2005). Ainda segundo o relatório final do grupo de trabalho do Ministério da Integração (SDR/MI, 2005), após a nova delimitação o semiárido brasileiro passou a ocupar uma área de 969.589,4 km², totalizando 1.133 municípios em nove estados: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. Devido ao desenvolvimento econômico experimentado nas últimas décadas, o município de Caruaru apresenta-se como um dos mais importantes desta região, cuja sede municipal está a uma altitude aproximada de 554 m em relação ao nível do mar, localizada entre as coordenadas 8°17'0" de latitude sul e 35°58'34" de longitude oeste, distando 140,7 km da capital Recife (CPRM, 2005).

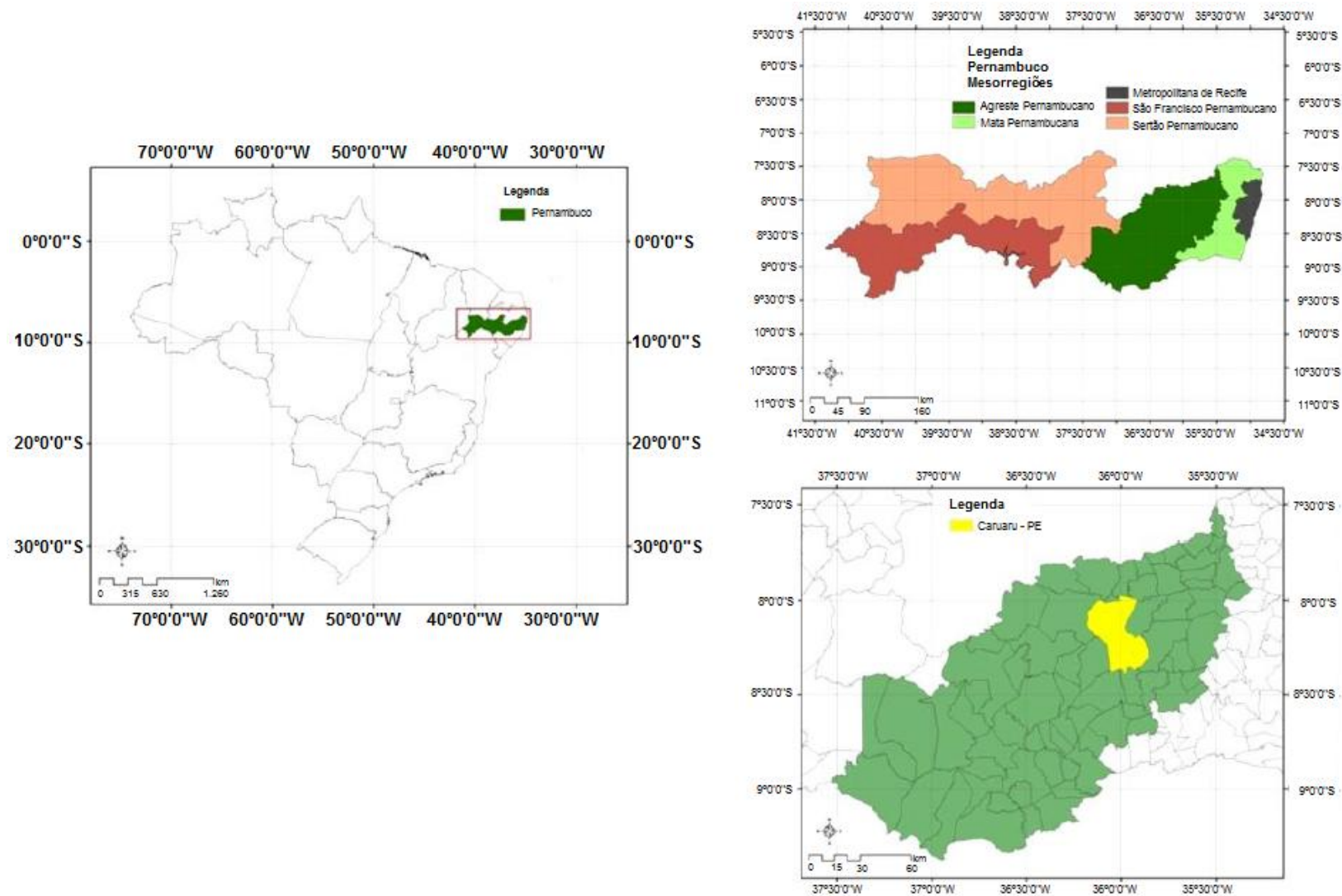


Figura 9 - Localização do município de Caruaru na região Agreste, em Pernambuco e no Brasil.

3.1.2 Geomorfologia

De acordo com o CPRM - Serviço Geológico do Brasil (2005), a região Agreste como um todo encontra-se inserida, geologicamente, na Província Borborema na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1000 metros. O município de Caruaru está totalmente inserido no Domínio Hidrogeológico Fissural, que é formado de rochas do embasamento cristalino que englobam o sub-domínio rochas metamórficas e o sub-domínio rochas ígneas e dos granitóides (CPRM, 2005).

3.1.3 Vegetação

Segundo Silva (2009), a região estudada encontra-se em uma zona cuja vegetação predominante original é a caatinga hipoxerófila, formada por florestas subcaducifólica e caducifólica, a qual recobria a maior parte do território no período pré-colonial. Entretanto, segundo Zanetti (1994), a caatinga sofreu alterações consideráveis que tiveram início com o processo de colonização do Brasil, inicialmente como consequência da pecuária bovina, associada a práticas agrícolas rudimentares, quando boa parte da cobertura original cedeu local para pastagens e áreas agrícolas, além do desmatamento para retirada de lenha para uso doméstico e industrial. Segundo Silva (2009), nas serras que atuam como limites das bacias hidrográficas, onde a altitude é superior a 700 m, aparece a vegetação típica dos brejos de altitude, a mata atlântica subperenifólia.

3.1.4 Hidrografia

Segundo dados da CPRM (2005), o município de Caruaru encontra-se inserido nos domínios das Bacias Hidrográficas dos rios Ipojuca e Capibaribe. Segundo CONDEPE/FIDEM (2005), na bacia hidrográfica do Ipojuca, o principal rio é o Ipojuca, que nasce nas encostas da serra do Pau d'Arco, no município de Arcoverde, a uma altitude de aproximadamente 900 m. Percorre aproximadamente 323 km e tem regime fluvial intermitente até seu médio curso, tornando-se perene entre as áreas pertencentes aos municípios de Gravatá e Chã Grande. Ao longo de seu curso banha diversas sedes municipais, inclusive no município de Caruaru, localização da área de estudo desta pesquisa. Seus principais tributários são:

- pela margem direita: riacho Liberal, riacho Papagaio, riacho Tacaimbó, riacho Taquara, riacho Cipó, riacho do Vasco, riacho Pau Santo, riacho Mocó, riacho das Pedras, riacho Verde, riacho Caruá, riacho Barriguda, riacho Machado, riacho do Mel, riacho

Continente, riacho Titara, riacho Vertentes, riacho Macaco Grande, riacho Rocha Grande, riacho Prata, riacho Cotegi, riacho Piedade e riacho Minas; e

- pela margem esquerda: riacho Poção, riacho Mutuca, riacho Taboquinha, riacho Maniçoba, riacho Bitury, riacho Coutinho, riacho do Mocós, riacho Salgado, riacho Várzea do Cedro, riacho Jacaré, riacho Sotero, riacho Cacimba de Gado, riacho da Queimada, riacho Manuino, riacho do Serrote, riacho Bichinho, riacho Muxoxo, riacho São João Novo, riacho Cueiro de Suassuna, riacho Pata Choca, riacho Cabromena, riacho Sapocaji e riacho Urubu.

Já a bacia hidrográfica do Capibaribe tem como rio principal o Capibaribe, que nasce nas encostas da Serra de Jacarará a uma altitude aproximada de 1000 m, no município de Jataúba. Percorre cerca de 270 km da nascente até a sua foz, em Recife, capital pernambucana, e apresenta regime fluvial intermitente no seu alto e médio cursos, tornando-se perene a partir do município de Limoeiro (PERNAMBUCO, 2002). Seus principais tributários são:

- pela margem direita são: rio do Mimoso, riacho Aldeia Velha, rio Tabocas, rio Fazenda Velha, riacho Doce, riacho Carrapatos, rio Cachoeira, riacho das Éguas, riacho Caçatuba, rio Batatã, rio Cotunguba, rio Goitá e rio Tapacurá.
- pela margem esquerda: rio Jataúba, rio Caraibeira, rio Mulungu, rio Olho D'água, riacho Pará, rio Tapera e riacho Doce, riacho Tapado, riacho do Manso, riacho Cursai e riacho Camaragibe.

Embora a sede municipal não esteja inserida nos domínios da bacia hidrográfica do Capibaribe, aproximadamente 57% da área do município pertence a esta bacia (PERNAMBUCO, 2002). Em relação às águas subterrâneas, o município de Caruaru está totalmente inserido no Domínio Hidrogeológico Fissural. O Domínio Fissural é formado de rochas do embasamento cristalino, caracterizado pela inexistência ou presença reduzida de espaços na rocha, o que dificulta a captação de águas subterrâneas (CPRM, 2005).

3.1.5 Precipitação e evapotranspiração

Com base nos dados da Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária (SARA, 2011) da precipitação média mensal para o período de 1992 a 2007, é possível observar a ocorrência de precipitação em todos os meses do ano, ainda que em pouca quantidade (Figura 10), para o município de Caruaru, foco desta pesquisa. Tal comportamento é semelhante para toda a região Agreste, com diferenças principalmente nas intensidades pluviométricas observadas, que são menores nas regiões mais próximas ao Sertão pernambucano e maiores nos

municípios próximos à Zona da Mata. O período de chuvas mais intensas vai de maio a julho, sendo os meses de setembro a dezembro os mais secos do ano. A precipitação média anual observada no município de Caruaru para o período analisado ficou abaixo de 500 mm por ano. Já a evapotranspiração, segundo dados do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco – LAMEPE (2005 *apud* SANTOS, 2011), apresenta-se sempre superior à precipitação, em torno de 1250 mm a 1500 mm ao ano, sendo o período mais crítico compreendido entre os meses de agosto a dezembro.

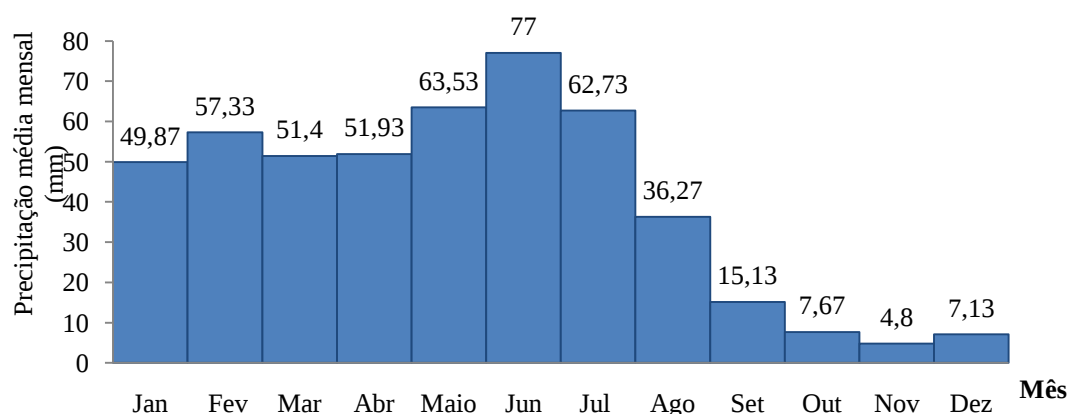


Figura 10 - Precipitação média mensal para o município de Caruaru. Série histórica 1992 a 2007.
Fonte: SARA (2011).

3.1.6 Aspectos socioeconômicos

De acordo com dados do Censo 2010 (IBGE, 2010b), o município de Caruaru tem 314.951 habitantes, dos quais aproximadamente 88% residem na área urbana do município. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é de 0,713, superior à média da região Agreste, que é de 0,622 e do estado de Pernambuco, que é 0,705. O Índice de Exclusão Social, que é construído por sete indicadores (pobreza, emprego formal, desigualdade, alfabetização, anos de estudo, concentração de jovens e violência) é de 0,447, ocupando a 7ª colocação no ranking estadual e a 2.595ª no ranking nacional (CPRM, 2005). Em 2009, o município possuía 9 estabelecimentos de saúde conveniados ao Sistema Único de Saúde (SUS), totalizando 537 leitos. Na área de habitação, o município apresentava, em 2010, 114.530 domicílios, dos quais 95.688 eram abastecidos com água do sistema público. Em 2009, a receita municipal ultrapassou os R\$ 260 milhões, e a despesa total ficou em torno de R\$ 266 milhões, dos quais 25,76% foram destinados à educação e 24,11% investidos na saúde.

3.2 Potencial de aproveitamento de água de chuva no Agreste Pernambucano

No que se refere ao nível de abastecimento de água, de acordo com Silva, Silva & Sicsú (2008), as informações do CONDEPE/FIDEM indicam que o mesmo ainda é excessivamente precário na região do Agreste Pernambucano, sendo classificado como inadequado em 41,1% de toda a região, onde no Estado esse dado é de 17%. A média de domicílios que recebem água proveniente do sistema público de abastecimento na região Agreste é de 45%, Tabela 4, o que ratifica a necessidade de investigação do potencial de aproveitamento de água de chuva nesta região.

Tabela 4 – Percentual de domicílios do Agreste Pernambucano abastecidos com água do sistema público de abastecimento.

Município	% de abastecimento	Município	% de abastecimento
Agrestina	64%	Jurema	57%
Águas Belas	38%	Lagoa do Ouro	40%
Alagoinha	36%	Lagoa dos Gatos	39%
Altinho	47%	Lajedo	75%
Angelim	42%	Limoeiro	60%
Barra de Guabiraba	85%	Machados	57%
Belo Jardim	82%	Orobó	22%
Bezerros	59%	Palmeirina	47%
Bom Conselho	48%	Panelas	43%
Bom Jardim	47%	Paranatama	12%
Bonito	64%	Passira	41%
Brejão	30%	Pedra	34%
Brejo da Madre de Deus	35%	Pesqueira	54%
Buíque	22%	Poção	40%
Cachoeirinha	63%	Riacho das Almas	34%
Caetés	19%	Sairé	35%
Calçado	29%	Salgadinho	39%
Camocim de São Félix	54%	Saloá	27%
Canhotinho	45%	Sanharó	75%
Capoeiras	27%	Santa Cruz do Capibaribe	75%
Caruaru	84%	Santa Maria do Cambucá	18%
Casinhas	9%	São Bento do Una	47%
Correntes	53%	São Caetano	49%
Cumarú	29%	São João	44%
Cupira	84%	São Joaquim do Monte	53%
Feira Nova	60%	São Vicente Férrer	35%
Frei Miguelinho	9%	Surubim	71%
Garanhuns	79%	Tacaimbó	46%
Gravatá	76%	Taquaritinga do Norte	11%
Iati	50%	Terezinha	42%
Ibirajuba	34%	Toritama	80%
Itaíba	47%	Tupanatinga	34%
Jataúba	15%	Venturosa	43%
João Alfredo	47%	Vertente do Lério	7%
Jucati	35%	Vertentes	54%
Jupi	20%		

Fonte: CONDEPE/FIDEM. Disponível em <http://www.bde.pe.gov.br/estruturacaogeral/PerfilMunicipios.aspx>

Segundo Farias, Santos & Cabral (2011), a prática de aproveitamento da água de chuva, em uma etapa anterior à sua efetivação (e conseqüentes gastos com tecnologias e estruturas) requer a determinação da disponibilidade de água para esse fim, de forma que se assegure a otimização dos custos em investimentos sobre as partes constituintes do sistema, ou seja, aproveitando ao máximo as superfícies de captação existentes, e direcionando possíveis custos adicionais aos ajustes e/ou instalações de condutos das superfícies de captação e reservatórios de armazenamento.

Considerando-se que todas as superfícies de captação das edificações compreendem telhados de telhas cerâmicas, investigou-se o potencial de aproveitamento de água de chuva no Agreste pernambucano. Para isso, utilizou-se como base a metodologia apresentada por Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006), tendo sido necessário a obtenção dos seguintes dados: precipitação, consumo de água do sistema público de abastecimento, população e quantidade de habitações em cada município considerado.

Segundo Ghisi (2006), estudos realizados em três estados da região sul do Brasil mostraram um potencial de economia de água do sistema público de abastecimento de 82% em média quando há água de chuva disponível no setor residencial. Nesta estimativa considera-se as informações pluviométricas da área estudada, o que nesta pesquisa, corresponde à região Agreste do estado de Pernambuco. Os valores médios mensais de precipitação para o período de 20 anos (de 1986 a 2005) de doze cidades localizadas na Região estão mostrados na Figura 11 e ratificam as informações constantes em SARA (2011), mesmo que em valores baixos, de precipitação em cada mês.

Os dados de 20 anos de precipitação mensal das doze estações pluviométricas – de 1986 a 2005 - foram obtidos do *site* da ANA (*HidroWeb*) para todas as estações, em seguida realizou-se o preenchimento de falhas pelo método da ponderação regional para duas estações: Brejo da Madre de Deus (código 836092 na ANA) e Águas Belas (código 937031 na ANA). Com estas informações foi possível calcular as médias mensais de precipitação para cada uma das estações pluviométricas citadas. Devido à existência de estações pluviométricas em apenas 12 dos 71 municípios estudados, foram gerados polígonos de *Thiessen* a partir dos pontos existentes, delimitando assim a área de influência para as estações pluviométricas com dados disponíveis, sendo determinadas desta forma, as informações referentes aos 59 municípios restantes.

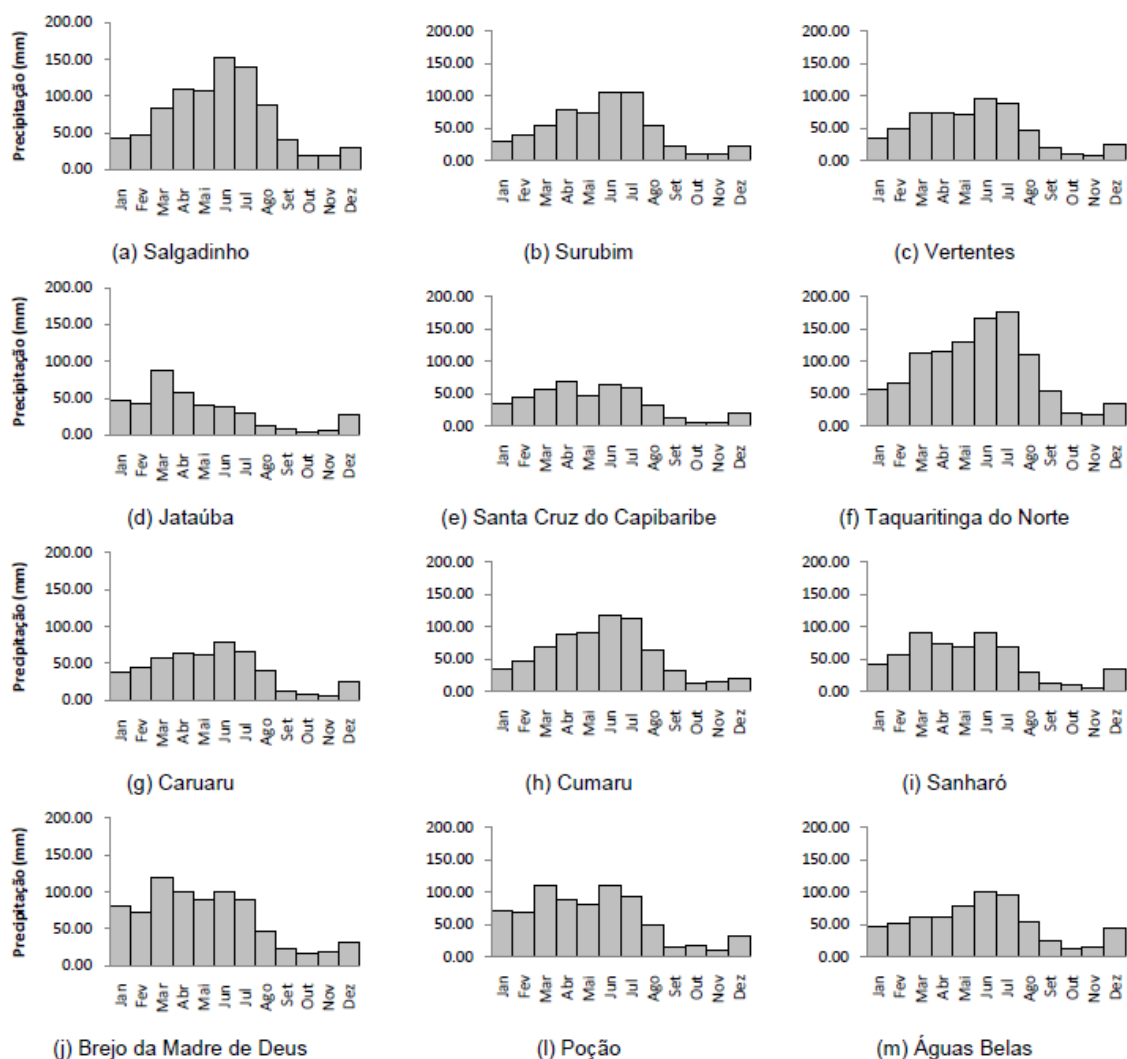


Figura 11 - Precipitação média mensal para doze cidades do Agreste pernambucano no período de 1986 a 2005. Fonte: ANA – *HidroWeb* (2010)

3.2.1 Cálculo do potencial de economia de água do sistema de abastecimento

O cálculo do potencial de economia de água do sistema de abastecimento levou em consideração, entre outras, as seguintes variáveis: número de habitantes abastecidos com água do sistema público de abastecimento, tamanho e natureza da superfície de captação e o volume total precipitado. As variáveis estão discutidas a seguir.

- Número de domicílios abastecidos com água do sistema público de abastecimento (*ND*)

O número de domicílios abastecidos com água do sistema público de abastecimento em cada cidade foi obtido junto ao CONDEPE/FIDEM (Agência Estadual de Pesquisas e Planejamento de Pernambuco), no Perfil Municipal disponível na Base de Dados do Estado (Disponível em <http://www.bde.pe.gov.br/estruturacaogeral/PerfilMunicipios.aspx>).

- Número de habitantes por domicílios (*PD*)

O número de habitantes por domicílio foi obtido a partir da Equação 3.1, considerando-se o número de pessoas residentes e a quantidade de domicílios em cada cidade, que foram obtidos no CONDEPE/FIDEM (Disponível em <http://www.bde.pe.gov.br/estruturacaogeral/PerfilMunicipios.aspx>)

$$PD = \frac{PC}{NDC} \quad (3.1)$$

Onde:

PD é o número de habitantes por domicílio em cada cidade [-]; PC, a população total em cada cidade [-]; NDC, o número de domicílios em cada cidade [-].

- População abastecida com água do sistema público de abastecimento (*NP*)

Para estimativa da população abastecida com água do sistema público de abastecimento considerou-se o número de domicílios abastecidos com água do sistema público de abastecimento (CONDEPE/FIDEM) e a quantidade de habitantes por domicílio (Equação 3.2).

$$NP = ND \times PD \quad (3.2)$$

Onde:

NP é a população abastecida com água do sistema público de abastecimento [-]; ND, número de domicílios abastecidos com água do sistema público de abastecimento [-]; PD, número de habitantes por domicílio [-].

- Área total de telhados de domicílios com abastecimento de água (*TRA*)

Ao investigar o potencial de economia de água potável usando água de chuva no setor residencial do Brasil, Ghisi (2006) apresentou os percentuais encontrados de casas e apartamentos para cada região geográfica do Brasil. No caso específico do Nordeste, onde se realizou este estudo, os percentuais apresentados por Ghisi (2006) foram: 94,7% para casas e 5,3% para apartamentos.

Considerando a inexistência de informações oficiais sobre a área média dos telhados (casas e/ou apartamentos) típicos da região de estudo, optou-se por seguir a mesma suposição apresentada por Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006). Os autores identificaram a inexistência dos mesmos dados e adotaram uma área de 85 m² para os telhados das casas e 15 m² para os telhados dos apartamentos.

A média ponderada da área do telhado por domicílio foi determinada utilizando-se a Equação 3.3.

$$RA = (H \times AC) + (F \times PD \times PA) \quad (3.3)$$

Onde:

RA é a média ponderada de área de telhado por domicílio em cada cidade [L^2], em m^2 ; H, é o percentual de casas em cada cidade [%]; F, o percentual de apartamentos em cada cidade [%]; AC, a área do telhado das casas = $85 m^2$; PA, a área por pessoa por apartamento [L^2], em m^2 .

No trabalho apresentado por Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006), adotou-se o valor de $3,75 m^2$ para a área ocupada por pessoa por apartamento, PA. Por outro lado, os dados obtidos no âmbito desta pesquisa indicaram que a quantidade média de habitantes por domicílio, na área estudada, foi de 2,86. Assim sendo, considerou-se a relação apresentada na Equação 3.4, e chegou-se ao valor de PA igual a 5,2.

$$PA = \text{Área por pessoa por apto.} (m^2/hab) = \frac{\text{Área do telhado por apto.} (m^2/_{dom})}{Qtde.de pessoas por apto.} (hab/_{dom}) \quad (3.4)$$

Deste modo, pode-se re-escrever a Equação 3.3 da seguinte forma:

$$RA = (H \times 85) + (F \times PD \times 5,2) \quad (3.5)$$

Ghisi (2006) ressaltou a inexistência de informações oficiais sobre os percentuais de casas (H) e de apartamentos (F) em cada cidade. Fato este também observado na realização deste trabalho para a área de estudo. Considerando-se esta situação, optou-se por seguir a recomendação do autor, e assumir que os percentuais de pessoas morando em casas e apartamentos correspondem aos percentuais de casas e apartamentos, respectivamente.

A área total de telhados de domicílios com abastecimento de água de cada cidade, que podem ser utilizadas como superfície de captação corresponde, portanto, à média ponderada da área de telhado por domicílio multiplicado pela quantidade de domicílios com população abastecida com água do sistema público de abastecimento (Equação 3.6).

$$TRA = RA \times ND \quad (3.6)$$

Onde:

TRA é a área total de telhados de domicílios com abastecimento de água de cada cidade [L^2], em m^2 .

Volume aproveitável de água de chuva em telhados com telhas cerâmicas

Do mesmo modo que Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006), o volume mensal de água de chuva que poderia ser aproveitado em cada cidade foi determinado considerando-se os dados de precipitação mensal, a área total de telhados e o coeficiente de escoamento (R_c). O coeficiente de escoamento corresponde à relação entre o volume escoado e o volume precipitado, podendo variar com a duração e com a intensidade da chuva. De uma forma geral, considera-se que esta perda de água ocorre devido à limpeza do telhado, perda por evaporação, perdas na autolimpeza, entre outras. Além disso, o clima do local e a natureza da superfície também interferem no escoamento superficial.

Frasier (1975) e Hofkes (1981) *apud* May (2008) sugerem que para telhas cerâmicas sejam adotados valores entre 0,8 e 0,9 para o coeficiente de escoamento. Isto representa uma perda entre 10% e 20% da precipitação. Neste trabalho optou-se por utilizar um coeficiente de escoamento igual a 0,8, visto que na região estudada as construções utilizam, em sua maioria, telhados com telhas cerâmicas. Sendo assim, o volume mensal de água de chuva que podem ser aproveitadas em cada cidade foi estimado a partir da Equação 3.7.

$$VR = \frac{(R \times TRA \times R_c)}{1000} \quad (3.7)$$

Onde:

VR é o volume mensal de água de chuva que poderiam ser aproveitadas em cada cidade [L^3/T], em $m^3/mês$; VR, o volume mensal de água de chuva que poderiam ser aproveitadas em cada cidade [L^3/T], em $m^3/mês$; R, a precipitação média mensal em cada cidade [L/T], em $mm/mês$; R_c , o coeficiente de escoamento [-]; 1.000, o fator de conversão de litros para m^3 .

Demanda de água do sistema público de abastecimento (PWD)

A demanda mensal de água do sistema público de abastecimento, para cada município, foi obtida a partir do *site* do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNSA, 2010), que disponibiliza dados do consumo médio *per capita* em $L/hab.dia$ para cada município.

Potencial de economia de água do sistema público de abastecimento (PPWS)

O potencial mensal de economia de água do sistema público de abastecimento foi determinado para cada uma das 71 cidades do Agreste pernambucano, utilizando a Equação 3.8.

$$PPWS = 100 \times \left(\frac{VR}{PWD} \right) \quad (3.8)$$

Onde:

PPWS é o potencial mensal de economia de água do sistema público de abastecimento em cada cidade [%]; PWD, demanda mensal de água do sistema público de abastecimento [L³/T], em m³/mês.

3.3 Experimento com telhados verdes no Agreste Pernambucano

3.3.1 Descrição da estrutura existente

Foi utilizado para a realização desta pesquisa os telhados verdes experimentais instalados no Instituto de Pesquisa Agronômica de Pernambuco (IPA) (Figuras 12a e 12b), e apresentados por Santos *et al.* (2009). Conforme descrito pelos autores, a escolha do local se deu devido a diversos fatores: interesse da instituição, existência de edificação adequada para receber o experimento, existência de uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para obtenção de dados pluviométricos.

Adaptações na edificação térrea original

Todo o processo de adaptação da estrutura pré-existente para a implantação dos módulos de telhados verdes foi realizado por Santos *et al.* (2009). Segundo os autores, a primeira etapa consistiu na divisão da área do telhado existente em três áreas aproximadamente iguais, Tabela 5.

Os detalhes construtivos, bem como a descrição das adaptações realizadas, foram apresentados por Santos *et al.* (2009). Os autores descreveram ainda o processo de seleção e implantação das espécies vegetais utilizadas na ocasião e que permaneceram ao longo desta pesquisa: *Cynodium dactylum*, mais conhecida como grama-de-burro (Figura 13a) e *Melocactus macrodiscus*, mais conhecida como coroa-de-frade (Figura 13b) em cada um dos telhados, visto que, segundo Santos *et al.* (2009), as mesmas têm características de adaptação aceitáveis para a localidade e a situação desejada. É importante destacar que no momento do plantio das vegetações foi adicionado fertilizante ao substrato.



(a) Localização do IPA em relação ao município de Caruaru. Fonte: Google Earth.



(b) Edificação existente no IPA onde foram instalados os telhados verdes.

Figura 12 - Localização do experimento.

Tabela 5 - Dimensões dos telhados verdes e telhado controle

Telhado	Dimensões	Área (m²)
Convencional	2,20 m x 2,13 m	4,686
Com grama-de-burro	1,95 m x 2,23 m	4,348
Com Coroa-de-frade	1,95 m x 1,77 m	3,451

A grama-de-burro (*Cynodium dactylum*) é uma forração de folhas estreitas de coloração verde intenso e crescimento rápido. É resistente ao pisoteio e apresenta rápida capacidade de regeneração. Tem boa adaptação ao clima seco (ISLA SEMENTES, 2006) (Figura 13a). Já o cacto coroa-de-frade (*Melocactus zehntneri*) é uma vegetação nativa do semiárido nordestino. É pouco exigente quanto ao solo e à umidade, não sendo resistente ao frio e ao excesso de chuvas (PATRO, 2011) (Figura 13b).



(a) Grama-de-burro



(b) Coroa-de-frade

Figura 13 - Telhados verdes utilizados nesta pesquisa.

No âmbito da pesquisa realizadas por Santos *et al.* (2009), foi concebido e implantado todo o sistema de captação e armazenamento da água excedente dos telhados, dois verdes e um convencional (Figura 14).

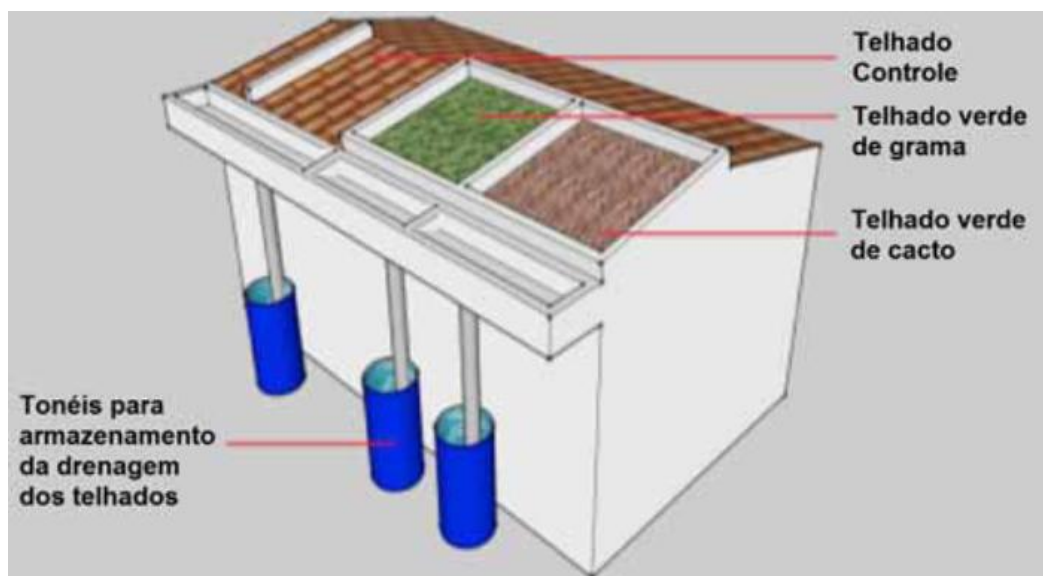


Figura 14 - Disposição dos telhados verdes e controle nas instalações do IPA. Fonte: Santos, 2011.

O armazenamento da água escoada é possível graças às bombonas de PVC, aqui denominadas de tonéis, com capacidade máxima de 240 L (Figura 15), em que foram instaladas mangueiras para possibilitar o descarte da água armazenada pelo fundo.



Figura 15 - Bombona de 240 L para armazenamento da precipitação excedente dos telhados

3.3.2 Obtenção de dados pluviométricos

Os dados pluviométricos utilizados nesta pesquisa foram obtidos do sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que mantém um sistema de informações de dados ambientais atualizados em tempo real. A Plataforma de Coleta de Dados (PCD) (Figura 16) instalada no IPA em Caruaru fornece as seguintes informações meteorológicas: temperatura do ar, temperatura máxima do ar (últimas 24 h), temperatura mínima do ar (últimas 24 h), umidade relativa do ar, radiação solar global acumulada e precipitação acumulada, sendo este último o parâmetro de interesse desta pesquisa.

Na PCD utilizada, o sensor de precipitação é um pluviômetro de báscula (Figura 17), que consiste de um funil com 200 mm de diâmetro de abertura o qual recolhe a chuva e encaminha para um sistema de básculas alternadas que é constituído de uma haste apoiada em seu centro com conchas nas extremidades. Quando a quantidade de chuva acumulada em uma báscula ou concha atinge 0,25 mm, o peso desta quantidade de líquido aciona o mecanismo, fechando um relé magnético, descartando o líquido e preparando a outra báscula ou concha para receber nova quantidade de líquido. O fechamento do relé magnético produz um pulso que é encaminhado a uma entrada contadora de pulsos da PCD que é programada para reportar a precipitação acumulada na unidade apropriada. A capacidade do pluviômetro é

ilimitada, pois o líquido é descartado imediatamente após a medida. O pluviômetro possui um “nível de bolha” em sua base que é utilizado para o correto nivelamento do instrumento.



(a) Vista lateral.

(b) Vista frontal.

Figura 16 - Plataforma de Coleta de Dados.

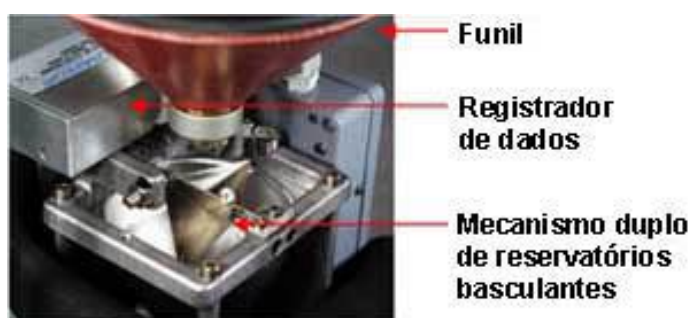


Figura 17 - Pluviômetro de báscula. Fonte: Araújo (2010).

A PCD fornece informações de precipitação acumulada mensal (em milímetros) a cada 3 horas. Os dados coletados foram processados em planilha eletrônica, gerando um banco de dados com informações pluviométricas diárias, mensais e anuais. Os dados pluviométricos foram utilizados para estimar a capacidade de retenção dos telhados verdes em comparação com o telhado controle.

3.3.3 Análise de qualidade da água

As análises de qualidade da água excedente dos telhados pesquisados foram realizadas no Laboratório de Química (LQ) do Centro Acadêmico do Agreste (CAA). Foram realizadas 12 coletas no período de janeiro a agosto de 2011, com intervalo aproximado de 15 dias entre elas. Após esse período não foi possível realizar coletas devido ao início do período de estiagem na região. As análises de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e salinidade foram realizadas *in loco*. Em seguida, as amostras foram coletadas em recipientes plásticos com capacidade de 1 (um) litro e acondicionadas em refrigerador para

garantir a preservação da amostra até o momento de realização das análises no laboratório. As amostras foram analisadas conforme as metodologias de referência do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999). Os parâmetros ferro, fósforo e nitrogênio nas suas diversas formas foram determinados através de kits da empresa Alfakit, cujas metodologias são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Especificações dos kits (Spectrokit)

Parâmetro	Método	Fotocolorímetro				Espectro λ (nm)
		LQI	LQS	Sensib.	Unidade	
Ferro total	Tiocianato	0,10	5,00	-	mg L ⁻¹ Fe	480
Fósforo	Vanadomolibdico	0,10	5,00	0,01959	mg L ⁻¹ P	415
Nitrito	Alfanaftilamina	0,02	0,30	-	mg L ⁻¹ N-NO ₂	520
Nitrato	Brucina	0,10	15,00	0,0361	mg L ⁻¹ N-NO ₃	415
Amônia	Nessler	0,10	5,00	0,1126	mg L ⁻¹ N-NH ₃	450

LQI: Limite de quantificação inferior | LQS: Limite de quantificação superior | Sensib.: Sensibilidade.

Fonte: <http://www.alfakit.com.br/>

As metodologias e especificações dos parâmetros analisados em laboratório e em campo são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros analisados nas amostras da água captada pelos telhados verdes.

Parâmetro	Precisão	Equipamento/Técnica	Informações sobre a determinação
pH	+/- 0,01	Sonda multiparâmetro (Modelo HI9828 – Hanna Instruments)	Determinação <i>in loco</i>
Temperatura	+/- 0,01 °C		
Salinidade	+/- 0,01 mg.L ⁻¹		
Oxigênio dissolvido	+/- 0,01 mg.L ⁻¹		
Condutividade elétrica	+/- 1 µS/cm		
Turbidez	+/- 0,01 NTU	Turbidímetro (Modelo 98703 – Hanna Instruments)	Determinação em laboratório, conforme metodologia de referência (<i>Standard Methods</i>)
Cor (aparente e real)	+/- 5%	Espectrofotômetro (Modelo Pharo 300 - Spectroquant)	
Alcalinidade	+/- 5 mg CaCO ₃ /L	Método volumétrico com detecção potenciométrica	
Sólidos totais	+/- 6 mg/L	Método gravimétrico	
Cloretos	5%	Titulação com Nitrato de Prata	
Dureza total	2,9%	Titulação com EDTA	

Fonte: Santos *et al.*, 2011.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Potencial de economia de água proveniente do sistema público de abastecimento

4.1.1 Número de habitantes por domicílios

O número de habitantes por domicílio variou entre 2,25 e 3,8 nas 71 cidades estudadas, com uma média de 2,86 habitantes por domicílio, valor abaixo da média encontrada no Censo 2010 realizado pelo IBGE para a região Nordeste, que foi de 3,5 moradores por domicílio (IBGE, 2010b). Tal diferença se deve ao fato de ter sido considerado neste estudo apenas a mesorregião do Agreste.

4.1.2 Área de telhados

Devido à falta de dados precisos sobre a área dos telhados das casas e dos apartamentos em cada cidade, foram adotados os valores sugeridos por Ghisi (2006). A partir da aplicação da Equação 3.5, obteve-se uma área média de telhados por habitação de 81,28 m² para as 71 cidades analisadas, conforme apresentado no Anexo I deste documento. A área dos telhados variou entre 81,11 m² e 81,54 m² por habitação. A área total de telhados foi encontrada utilizando a Equação 3.6, considerando a área dos telhados por habitação em cada cidade e o número de domicílios. Os valores totais obtidos para cada cidade variaram entre 16 mil m², para o município de Vertente do Lério, e 7,7 milhões de m² para o município de Caruaru. Logo, o município de Caruaru apresentou a maior área de superfície de captação entre todos os municípios do Agreste pernambucano.

4.1.3 Demanda de água do sistema público de abastecimento

A demanda média de água do sistema público de abastecimento nas 71 cidades analisadas foi de 80,7 L/hab.dia. Os valores mínimo e máximo foram, respectivamente, 19,8 L/hab.dia em Vertente do Lério e 145,9 L/hab.dia no município de Iati. Ghisi (2006) encontrou o valor de 97 L/hab.dia para demanda de água potável na região Nordeste, o que representa cerca de 20% a mais do que a demanda média encontrada neste trabalho. Tal diferença se justifica, visto que a demanda média atual foi calculada para a região do agreste pernambucano com mais dificuldade de obtenção de água, enquanto que a demanda encontrada por Ghisi (2006) foi calculada para toda a região Nordeste.

4.1.4 Volume aproveitável de água de chuva captada por telhados com telhas cerâmicas

O volume mensal e anual de água de chuva que pode ser aproveitado em cada uma das 71 cidades estudadas foi calculado conforme o procedimento descrito na metodologia. Na

Tabela 8 são apresentados os resultados de potencial de economia anual obtidos para 12 dos 71 municípios analisados, sendo estes os municípios que possuem estações pluviométricas.

Por ser o município com maior população e, conseqüentemente, maior número de domicílios da região, Caruaru é também o município com maior área de superfície de captação e volume aproveitável de água de chuva. O aproveitamento de água de chuva no município de Caruaru pode significar, em um ano, uma economia de 31%, podendo esta economia chegar a 58% durante o período chuvoso.

4.1.5 Potencial de economia de água do sistema público de abastecimento

Os dados obtidos na Tabela 8, do volume captado das chuvas em relação ao volume ofertado pela Compesa (%), indicam que a região possui um sistema de abastecimento deficitário, fato confirmado pela Tabela 4. O município de Iati foi o que apresentou o menor potencial de economia de água do sistema público de abastecimento, aproximadamente 25%, conforme apresentado no Anexo I deste documento. Três municípios se destacaram pelo fato do novo aporte de água com as chuvas chegar a 100% ou mais da quantidade de água ofertada pelo sistema público de abastecimento, ou seja, pode trazer uma economia ou pode reduzir o racionamento de água. Na prática, o mais provável é que este aporte de água com a captação das chuvas reduza o racionamento visto que o consumo per capita estava muito baixo. Embora durante o período de estiagem o potencial de economia de água da COMPESA diminua, este fato pode ser suprido pelo armazenamento da água de chuva nos demais meses do ano. Apresenta-se, na Figura 18, o resultado para duas cidades com potencial mínimo, Iati, e máximo, Vertente do Lério, de economia de água do sistema público de abastecimento.

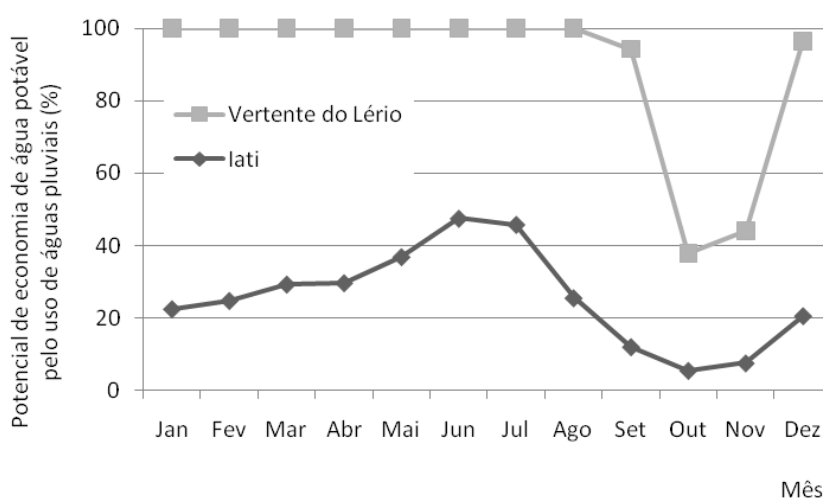


Figura 18 - Potencial mensal de economia de água do sistema público de abastecimento pelo uso de água de chuva – cidades com comportamentos extremos – máximo e mínimo.

Tabela 8 - Resultados para doze municípios do Agreste Pernambucano

Cidade	Área média do telhado / habitação (m²)	Número de domicílios abastecidos com água do sistema público de abastecimento	Área total de telhados (m²)	Volume precipitado (m³/ano)	Demanda de água do sistema público de abastecimento (m³/ano)	Volume captado das chuvas em relação ao volume ofertado pela Compesa (%)
Águas Belas	81,26	5.415	440.042,53	227.400	423.085	53,7
Brejo da Madre de Deus	81,22	5.968	484.715,47	304.493,8	446.042,5	68,2
Caruaru	81,25	95.688	7.774.926	3.142.345	10.110.444	31
Cumarú	81,23	1.894	153.851,71	86.098,5	214.712,4	40,1
Jataúba	81,16	982	79.698,15	26.000,72	46.198,65	56,2
Poção	81,20	1737	141.044,33	84.152,69	58.638,04	143,5
Salgadinho	81,54	953	77.708,55	54.774,27	106.340,7	51,5
Sanharó	81,38	5.154	419.432,26	195.547,7	513.146,2	38,1
Santa Cruz do Capibaribe	81,32	22.008	1.789.688,70	646.084,8	2.002.923	32,2
Surubim	81,29	14.497	1.178.402,60	571.327,3	1.103.139	51,8
Taquaritinga do Norte	81,20	1.033	83.875,36	71.317,54	74.941,35	95,1
Vertentes	81,24	3636	295.396,91	141.537,7	358.076	39,5

Na Figura 19 estão representados os valores mínimos, médios e máximos de economia de água do sistema público de abastecimento em cada mês para as 71 cidades. É possível observar que, em média, os meses de maio a agosto são os que apresentam maior potencial de economia, pois são os meses que correspondem ao período chuvoso na região.

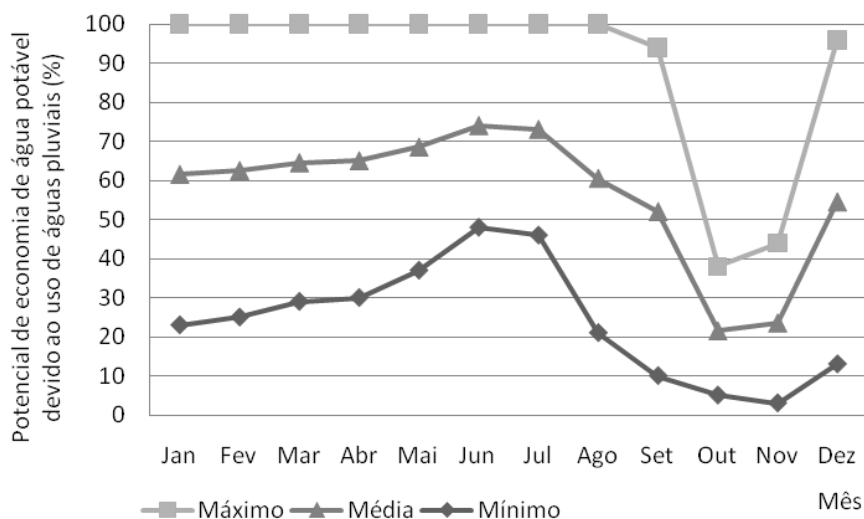


Figura 19 - Potencial mensal de economia de água do sistema público de abastecimento pelo uso de água de chuva nas 71 cidades – máximo, média e mínimo.

No município de Caruaru, mais de 80% dos domicílios recebem água do sistema público de abastecimento. Segundo dados do Ministério da Integração, desde a construção da barragem do Jucazinho e implantação do respectivo sistema adutor, os problemas relacionados à quantidade de água disponível para o abastecimento de água no município de Caruaru e em outros municípios da região Agreste foram minimizados. Por ser o município com a maior área de telhados, que podem se constituir em superfícies de captação, e também maior população, o aproveitamento de água de chuva no município de Caruaru pode constituir uma alternativa para redução da pressão sobre o sistema público de abastecimento. Em outros municípios da região onde o abastecimento público é deficitário, pode se tornar uma alternativa para redução do racionamento e incremento na disponibilidade hídrica da região.

4.2 Estudo da precipitação no município de Caruaru e da capacidade de retenção de água pelo telhados estudados

No período de estudo, que corresponde ao ano de 2011, foi verificada a ocorrência de precipitação em todos os meses do ano, ainda que em pouca quantidade. No período de janeiro a agosto de 2011, as precipitações foram em maior quantidade, possibilitando o acúmulo de água nos tonéis que recebem a água escoada dos telhados estudados. No período

de setembro a dezembro de 2011, não foi possível o acúmulo de água, devido às poucas chuvas que ocorreram neste período e com intervalos entre elas (Figura 20).

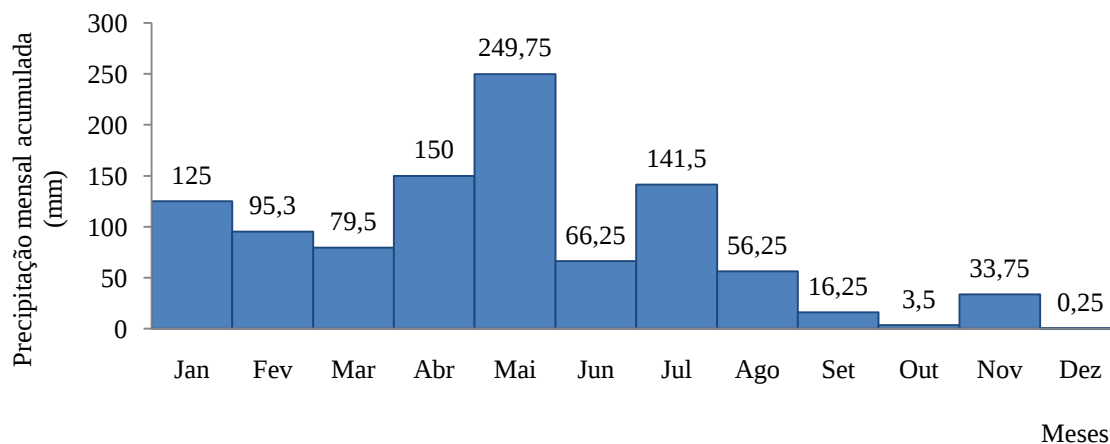
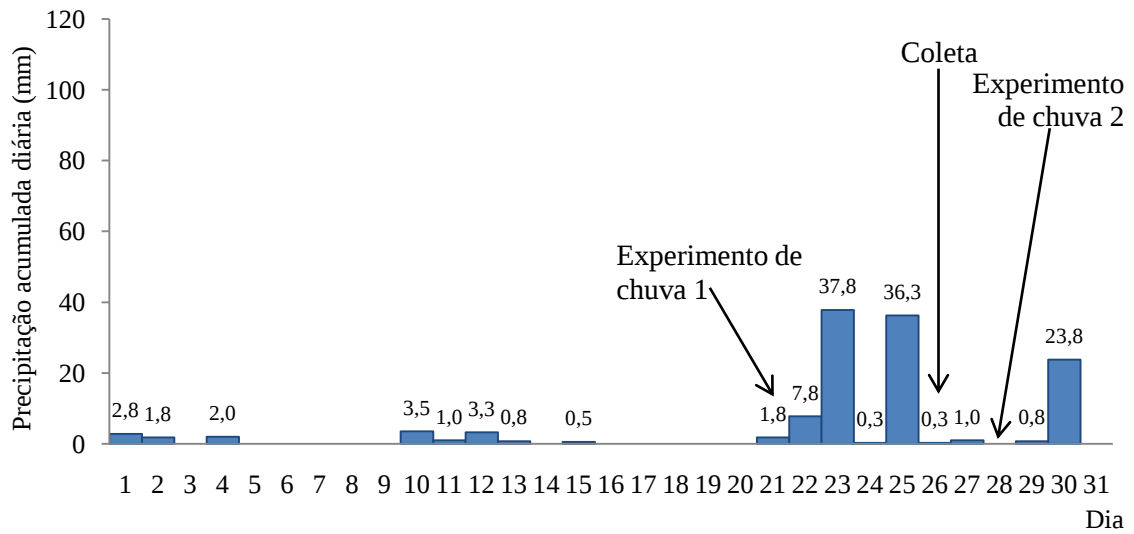


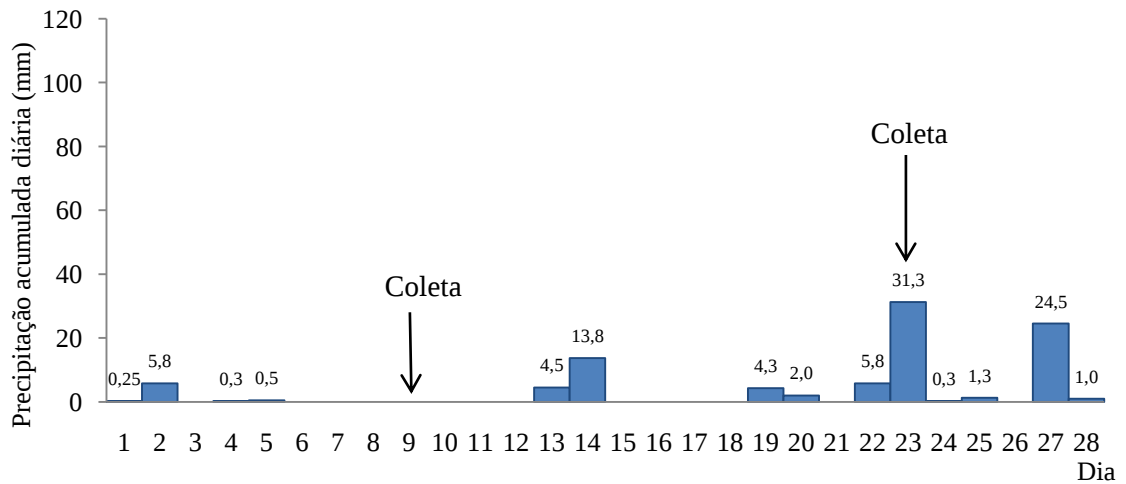
Figura 20 - Precipitação mensal acumulada (em mm) para o ano de 2011. Fonte: INPE (http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/historico/consulta_pcdm.jsp)

A partir da análise da precipitação, foi possível inferir que a intensidade pluviométrica e o período sem ocorrência de chuva entre dois eventos chuvosos influenciam na capacidade de retenção de água pelo solo e pela vegetação. Se o período sem chuvas se prolonga, o solo e a vegetação perdem água para o meio através da evapotranspiração, aumentando a sua capacidade de reter a água quando da ocorrência de um evento chuvoso. A temperatura ambiente também contribui para este efeito, embora esta análise não tenha sido objeto de estudo desta pesquisa.

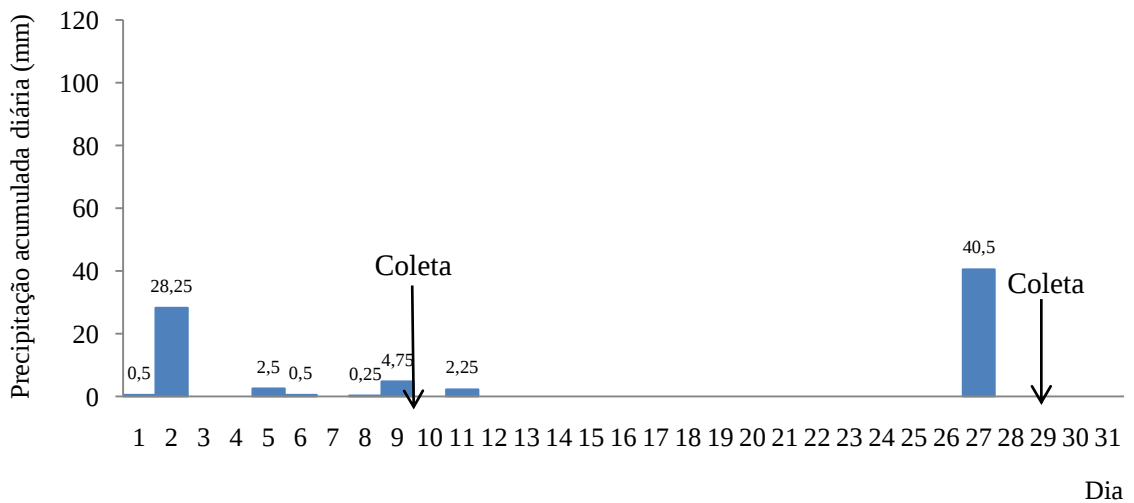
Na Figura 21 são apresentados os hietogramas dos meses de janeiro a agosto de 2011, que correspondem aos meses com maior ocorrência de chuvas e quando foram realizadas coletas de amostras de água para análise em laboratório. Neste período também foram medidos os volumes armazenados nos tonéis que recebem a precipitação excedente dos telhados. Verificou-se que, com exceção das medições realizadas em 26 de janeiro e 9 de fevereiro, os telhados com vegetação retiveram entre 27% e 80% do volume precipitado. Nas medições realizadas em 26 de janeiro e 9 de fevereiro, a discrepância encontrada entre a precipitação ocorrida e o volume armazenado nos tonéis se deve ao fato de terem sido realizados 2 experimentos de chuva, um no dia 21 de janeiro, com intensidade de precipitação simulada de 42 mm/h, durante 30 minutos e o segundo experimento foi realizado no dia 28 de janeiro, com intensidade de 79 mm/h, durante 30 minutos, no âmbito da pesquisa desenvolvida e descrita por Santos (2011).



(a) Dados referentes ao mês de janeiro de 2011

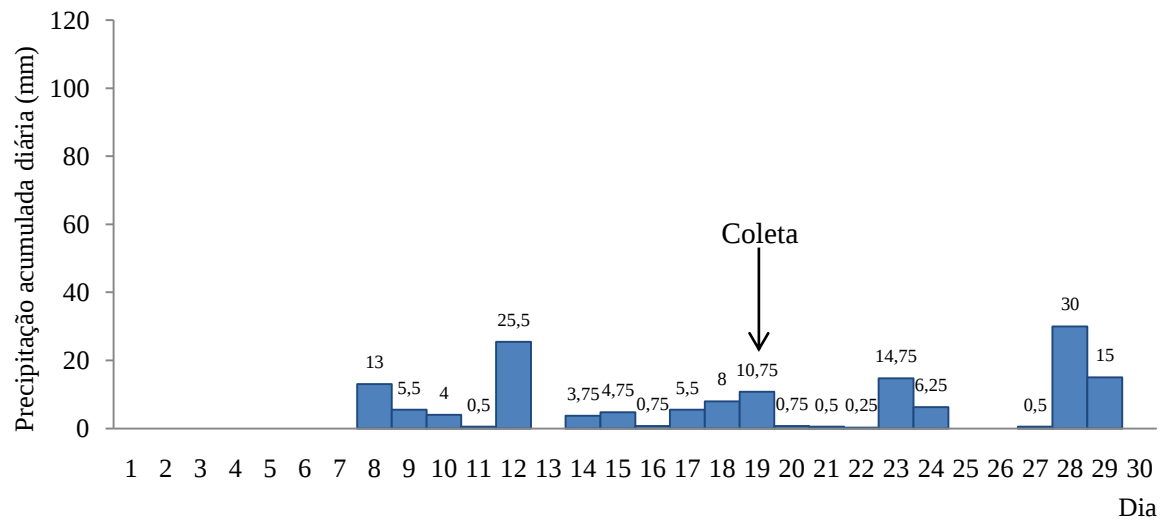


(b) Dados referentes ao mês de fevereiro de 2011

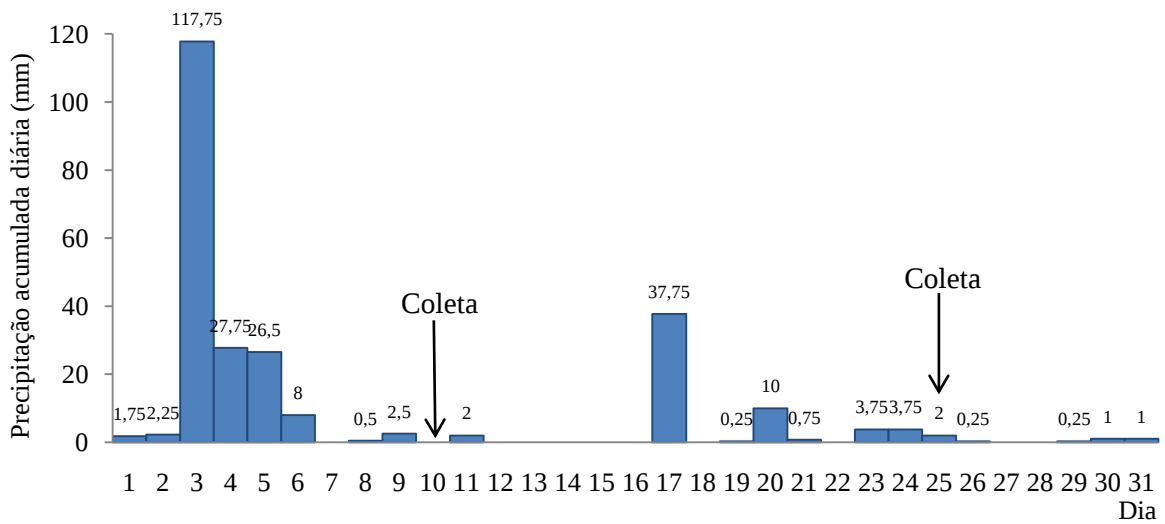


(c) Dados referentes ao mês de março de 2011.

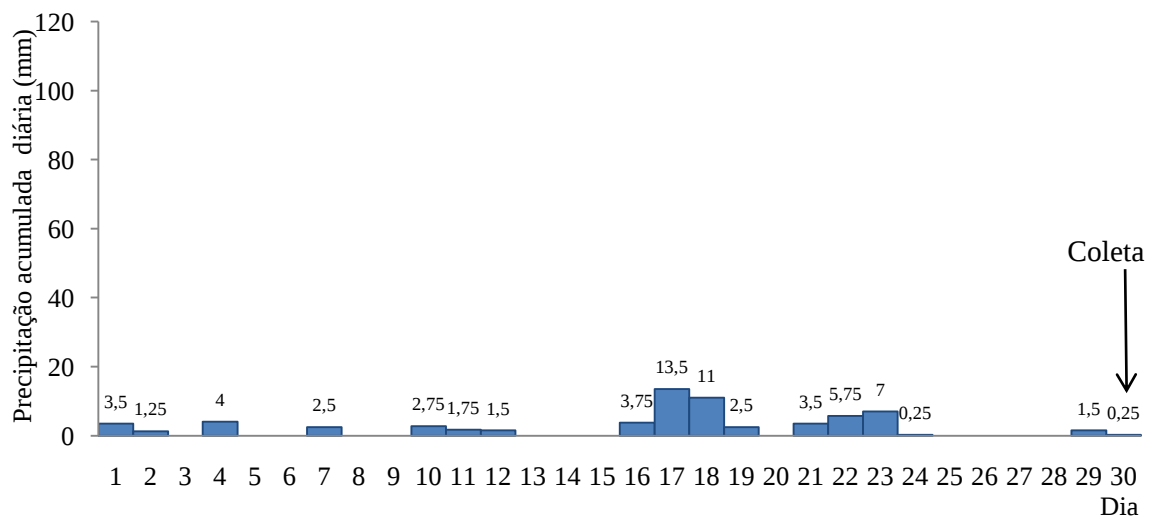
Figura 21 - Valores de precipitação, em mm, obtidos do site do INPE (continua).



(d) Dados referentes ao mês de abril de 2011

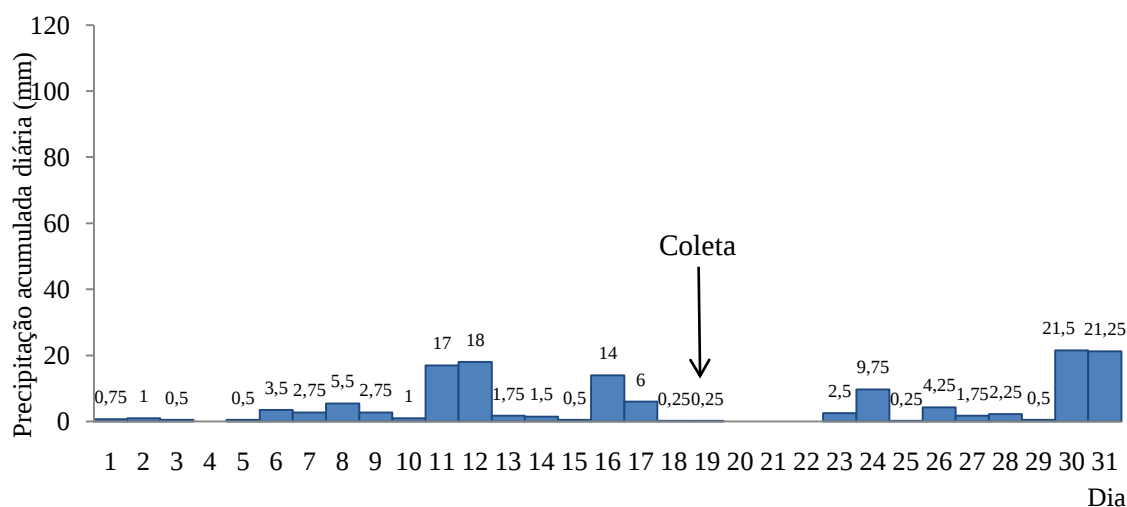


(e) Dados referentes ao mês de maio de 2011

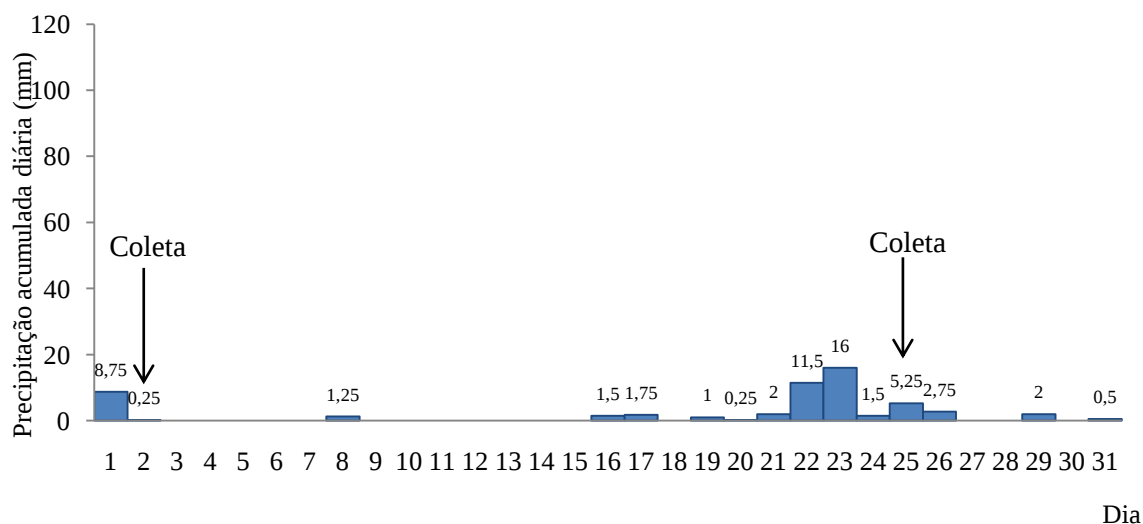


(f) Dados referentes ao mês de junho de 2011.

Figura 21 - Valores de precipitação, em mm, obtidos do site do INPE (continuação).



(g) Dados referentes ao mês de julho de 2011



(h) Dados referentes ao mês de agosto de 2011

Figura 21 - Valores de precipitação, em mm, obtidos do site do INPE.

Na Tabela 9 são apresentados os dados relacionados ao volume armazenado nos tonéis. De acordo com a área da superfície de captação e a precipitação acumulada nos períodos que antecedem à realização das coletas, foi determinado o volume máximo que poderia ser armazenado nos tonéis caso não existissem perdas no sistema. Os volumes reais armazenados nos tonéis foram medidos considerando-se a altura da água encontrada nos mesmos e a forma dos tonéis. Conforme citado anteriormente, os dados obtidos em 26 de janeiro e 9 de fevereiro foram influenciados pelo experimento de chuva realizado em períodos anteriores às coletas. Para os telhados verdes, os valores observados na medição do dia 10 de maio também foram desconsiderados, pois não é possível afirmar o volume de água retido pelos telhados verdes, uma vez que os tonéis encontravam-se com seu volume máximo preenchido.

Tabela 9 - Precipitação acumulada e volumes armazenados nos tonéis para os telhados verdes e o telhado controle

Data da coleta	Prec. Acum. (mm) no período anterior à coleta	ΔT P = 0 ou P ≤ 10 mm/dia	Grama-de-burro (A = 4,35 m ²)			Coroa-de-frade (A = 3,45 m ²)			Controle (A = 4,69 m ²)	
			Vol. Max. (m ³)*	Vol. Real (m ³)**	Retido pelo telhado	Vol. Max. (m ³)*	Vol. Real (m ³)**	Retido pelo telhado	Vol. Max (m ³)*	Vol. Real (m ³)**
26 de janeiro	99,25	- ¹	0,430	0,240	- ¹	0,340	0,240	- ¹	0,465	0,240
09 de fevereiro	32,50	- ¹	0,141	0,188	- ¹	0,112	0,150	- ¹	0,152	0,240
23 de fevereiro	30,30	8 dias	0,130	0,035	73%	0,100	0,038	62%	0,140	0,109
10 de março	95,00	7 dias	0,410	0,203	50%	0,330	0,119	64%	0,450	0,240
29 de março	42,75	1 dia	0,190	0,139	27%	0,150	0,074	51%	0,200	0,200
19 de abril	71,25	6 dias	0,310	0,139	55%	0,250	0,064	74%	0,334	0,240
10 de maio	265,75	4 dias	1,160	0,240	- ¹	0,920	0,240	- ¹	1,245	0,240
25 de maio	58,25	7 dias	0,250	0,123	51%	0,200	0,040	80%	0,273	0,240
30 de junho	70,50	11 dias	0,310	0,103	67%	0,240	0	- ¹	0,330	0,194
19 de julho	77,50	2 dias	0,340	0,166	51%	0,270	0	- ¹	0,363	0,240
02 de agosto	73,00	1 dia	0,320	0,173	46%	0,250	0,117	53%	0,342	0,240
25 de agosto	37,00	1 dia	0,160	0,063	61%	0,130	0,054	58%	0,173	0,131

* Volume máximo que poderia ser captado de acordo com a área da superfície de captação e a precipitação ocorrida | ** Volume real armazenado nos tonéis, considerando as perdas por evapotranspiração e a parcela da precipitação retida pelo solo dos telhados verdes | ¹ Não é possível identificar.

Fazendo-se a relação entre o volume máximo que poderia ser acumulado devido à precipitação ocorrida entre as coletas a partir do tamanho de cada superfície de captação, e o volume real observado nos tonéis, chega-se ao volume retido em cada telhado verde. Neste contexto, conforme observado na Tabela 9, com relação à capacidade de retenção da água precipitada, os melhores desempenhos para o telhado com grama-de-burro foram observados nos dias 23 de fevereiro e 30 de junho e foram 73% e 67% respectivamente, e para o telhado com coroa-de-frade, os melhores desempenhos ocorreram em 25 de maio e 19 de abril e foram 80% e 74%, respectivamente. Observando-se os demais desempenhos dos telhados verdes verifica-se que para o telhado com grama-de-burro o percentual de retenção variou de 46% (no dia 2 de agosto) a 61% (no dia 25 de agosto), o que em termos médios equivale a 55%, e para o telhado com coroa-de-frade este percentual variou de 53% (no dia 2 de agosto) a 64% (no dia 10 de março), que em termos médios equivale a 59%, valores superiores aos encontrados por Van Woert *et al.* (2005), de 52,4% para telhados vegetados submetidos a chuvas mais fortes (> 6 mm) e por Bengtsson, Grahn & Olsson (2005), de 49% foram retidos pelo telhado verde extensivo.

No que se refere às precipitações anteriores, verificou-se que, assim como observado por MacMillan (2004) e Teemusk & Mander (2007), os eventos chuvosos de menor intensidade e maior espaçamento entre eles resultaram na maior capacidade de retenção de água pelos telhados verdes, sendo, que no caso do telhado com grama-de-burro foram 8 dias sem chuva ou com chuva igual ou inferior a 10 mm antes do dia de maior retenção, 73% (23 de fevereiro), e de 11 dias para a maior retenção seguinte, 67% (30 de junho); e no caso da coroa-de-frade, estes intervalos foram de 7 dias para a retenção de 80% (25 de maio) e 6 dias para a retenção de 74% (19 de abril). Por outro lado, as menores retenções ocorreram em 29 de março, quando se observou o intervalo de apenas 1 dia sem chuva, para ambos os telhados, sendo 27% para a cobertura de grama-de-burro e 51% para a cobertura de coroa-de-frade.

Analisando-se os volumes acumulados nos tonéis, observa-se que no dia de coleta precedido de eventos chuvosos de maior magnitude, dia 10 de maio, com um total de 265,75 mm, não foi possível avaliar a capacidade de retenção dos telhados, pois o volume escoado dos telhados verdes foi superior à capacidade de armazenamento dos respectivos tonéis. Sendo assim, o excedente do volume do tonel transbordou do mesmo e não foi possível a sua mensuração. Também não puderam ser contabilizados os volumes retidos no telhado verde com coroa-de-frade nas coletas dos dias 30 de junho e 19 de julho, pois devido a um entupimento no cano de escoamento do respectivo telhado, identificado e corrigido no dia 30

de junho e recorrente na coleta do dia 19 de julho, não houve escoamento de água neste período para o tonel. Este fato pode ter influenciado na coleta de 25 de maio, quando o telhado verde com coroa-de-frade apresentou capacidade de retenção (de 80%) maior do que o que vinha apresentando anteriormente.

Para o telhado controle só foi possível observar o percentual retido em quatro eventos, dos dias 23 de fevereiro, 29 de março, 30 de junho e 25 de agosto, pois nas demais coletas o tonel encontrava-se com sua capacidade máxima preenchida, não sendo possível afirmar o percentual de precipitação que foi perdido no sistema controle. Nos dias citados acima, observou-se que as perdas relacionadas ao telhado controle de telhas cerâmicas são da ordem de 20%, exceto para o dia 29 de março, valor que se aproxima do coeficiente de escoamento superficial adotado por Frasier (1975) e Hofkes (1981) (*apud* MAY, 2008). Sendo este valor associado à perda devida, principalmente, à evaporação da precipitação quando em contato com as telhas cerâmicas, na coleta do dia 29 de março isto pode não ter acontecido devido à maior parte da precipitação, 95%, ter acontecido 1 dia antes. O percentual de retenção do telhado convencional observado nesta pesquisa é da mesma ordem do encontrado por Van Woert *et al.* (2005), de 22,2%.

Na Figura 22 é possível observar os percentuais retidos por cada estrutura em comparação com volume máximo captável, calculado em função da área da superfície de captação e da precipitação acumulada. Os dados estão apresentados separadamente para o telhado referência e os telhados com vegetação, destacando-se apenas os dados válidos para determinação da capacidade de retenção de água de chuva pelos telhados estudados. Em relação ao telhado controle, foram considerados válidos apenas os dados referentes aos dias 23 fevereiro, 30 de junho e 25 de agosto, pois nestas datas foi possível avaliar o percentual de precipitação que foi perdido por evaporação. O dado do dia 30 de junho, onde a retenção foi maior que nos outros dados considerados, pode ser justificado pelo intervalo entre os eventos chuvosos ocorridos durante o mês, além da baixa intensidade dos eventos (Figura 21f), que favorece a evaporação.

Para os telhados com vegetação, foram descartados os dados referentes aos dias 26 de janeiro, 9 de fevereiro e 10 de maio, pois os dois primeiros eventos sofreram interferência dos experimentos de chuvas realizados no âmbito da pesquisa desenvolvida por Santos (2011), e no período antecedente à coleta do dia 10 de maio houve a ocorrência de uma precipitação intensa, maior que 100 mm (dia 3 de maio, Figura 21e). No período de 25 de maio a 19 de julho, verificou-se uma falha no sistema de escoamento da precipitação

excedente do telhado verde com vegetação coroa-de-frade, sendo que nas duas últimas coletas o percentual retido pelo referido telhado foi de 100%, em virtude do entupimento ocorrido.

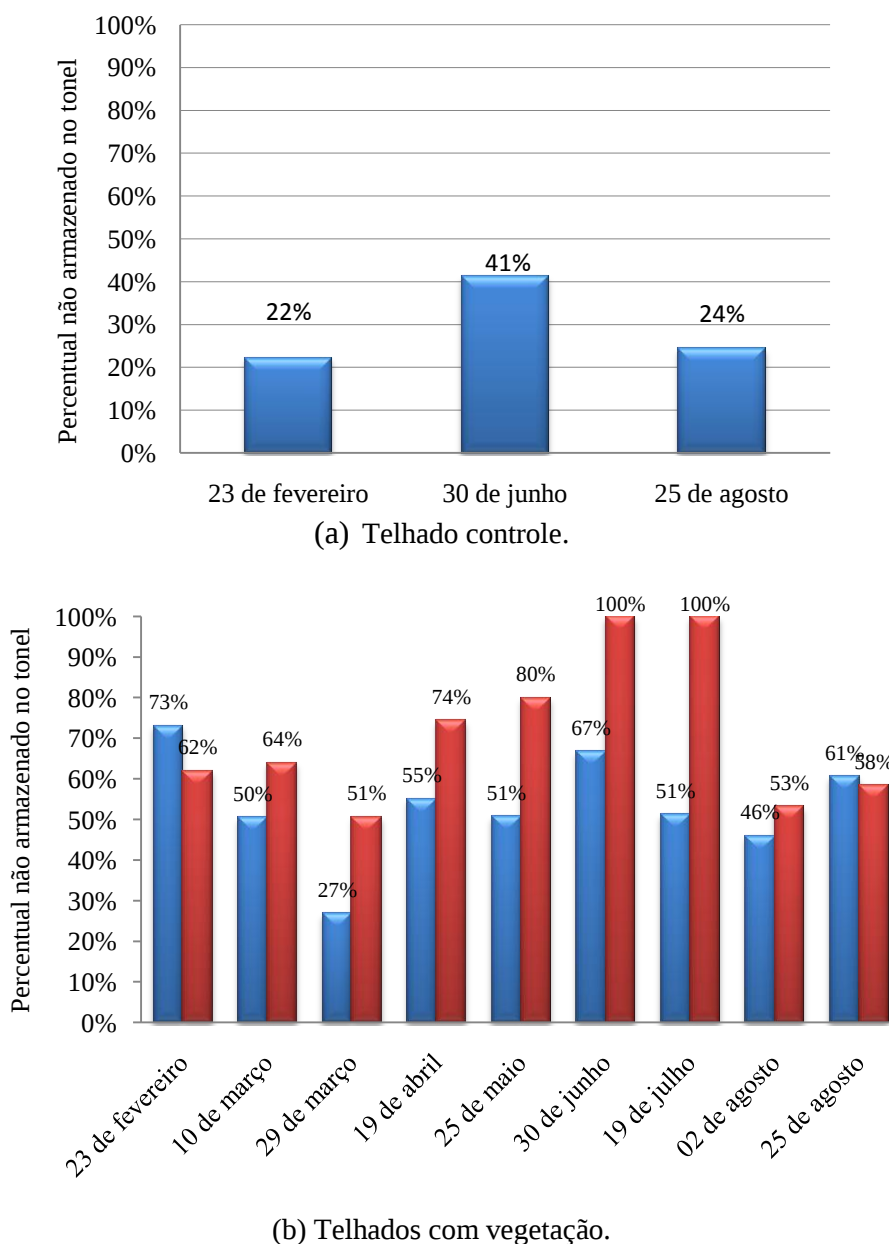


Figura 22 - Percentual de precipitação não armazenada no tonel.

Observa-se que, na maioria dos eventos, o telhado com vegetação cactácea foi o que apresentou maior capacidade de retenção. Tal fato se deve à estrutura da vegetação, que é capaz de armazenar água em seu interior, sendo o montante retido por esta estrutura composto pelas parcelas retidas pelo substrato e pela própria vegetação. O telhado com grama-de-burro, apesar de apresentar maior área recoberta (devido à morfologia da vegetação utilizada) e, consequentemente, maior superfície de interceptação, apresentou valores menores de retenção, fato atribuído por Santos (2011), em parte ao estado envelhecido da vegetação.

Comparando os dados da Tabela 9 e da Figura 22, é possível observar que não apenas o volume precipitado no período anterior à coleta interfere na capacidade de retenção do telhado, mas também o intervalo entre os eventos chuvosos e a intensidade de cada um. Portanto, faz-se necessário o estudo dos eventos chuvosos isoladamente, para determinação das perdas por cada estrutura.

4.3 Indicadores de qualidade da água

Segundo May (2008), vários fatores interferem na qualidade da água: localização do ponto de coleta, presença ou não de vegetação, condições meteorológicas e presença de carga poluidora no meio atmosférico e na superfície de captação em si. Sendo assim, a avaliação da qualidade da água captada em telhados é de extrema relevância para a determinação dos possíveis usos desta água. No caso dos telhados verdes, as alterações na qualidade da água escoada estão relacionadas, principalmente, à passagem da mesma pelo substrato, o que pode ser verificado comparando-se a qualidade da água dos dois telhados verdes com o excedente do telhado convencional, chamado aqui de telhado controle. Os dados obtidos a partir da análise da água excedente dos telhados verdes e do telhado controle são apresentados nas Tabelas 10, 11 e 12. Verifica-se na Tabela 11 que nos dias 30 de junho e 19 de julho, não foram obtidos dados da qualidade da água excedente do telhado com vegetação coroa-de-frade. Neste período não havia água disponível no tonel que acumula a precipitação excedente do telhado verde com coroa-de-frade, conforme explicado anteriormente, devido a um entupimento no cano de escoamento do respectivo telhado, identificado e corrigido no dia 30 de junho e recorrente na coleta do dia 19 de julho. Observando-se os dados de qualidade da água para a data imediatamente anterior a este evento, em 25 de maio, pode-se observar que os parâmetros cor aparente e cor verdadeira apresentaram valores menores em relação às amostras analisadas nos períodos anteriores, indicando que houve menos passagem de sólidos pelo sistema de captação. Dos dados de precipitação e retenção, conclui-se que o entupimento no sistema de captação se deu após os eventos chuvosos do início do mês de maio. Diversos estudos (MacMILLAN, 2004; BERNDTSSON, EMILSSON & BENGTSSON, 2006; HATHAWAY HUNT & JENNINGS, 2008; GREGOIRE & CLAUSEN, 2011) indicam que a água escoada dos telhados verdes apresenta alterações significantes de qualidade, principalmente nos parâmetros fósforo e nitrogênio, devido à presença do substrato, fato comprovado durante a realização deste trabalho, onde a concentração de fósforo e nitrogênio nas diversas formas apresentou concentrações maiores na água os telhados verdes, quando comparadas com a concentração da água escoada pelo telhado controle, de telhas cerâmicas.

Tabela 10 - Valores obtidos para os parâmetros analisados em todas as amostras da água excedente do telhado verde com grama-de-burro.

Parâmetros físico-químicos	Grama-de-burro											
	26/01	09/02	23/02	10/03	29/03	19/04	10/05	25/05	30/06	19/07	02/08	25/08
Cor Aparente (Pt/Co)	-	254	750	351	379	632	351	72	332	530	388	209
Cor Verdadeira (Pt/Co)	331	320	678	348	327	-	348	71	326	507	382	198
ST(mg/L)	746	740	464	492	376	1346	428	140	2416	688	642	322
SDT(mg/L)	612	-	508	404	94	1198	354	-	-	668	-	-
Turbidez (NTU)	16,85	1,09	1,25	0,89	27,8	1,65	-	0,71	0,8	3,77	3,57	2,57
Temperatura (°C)	23,4	26,4	28,8	27,8	27,5	22,7	23,4	23,12	23,7	21,5	21,2	21,97
pH	7,2	6,6	7,4	7,0	6,5	7,2	7,2	6,8	7,9	7,5	7,4	6,4
Alcalinidade Total (mg CaCO₃/L)	40,06	-	44,07	46,07	40,06	146,23	65,60	22,00	5,01	137,62	95,35	29,75
Dureza Total (mg CaCO₃/L)	162,36	229,68	87,12	77,22	83,16	247,5	110,88	99	180,18	118,37	116,33	61,22
Cloretos (mg Cl⁻/L)	26,17	32,87	15,61	6,81	21,32	15,82	7,1	6,3	10,34	8,15	5,68	7,41
Condut. Elétrica (µS/cm)	349	387	234	166,3	173,8	467	153	82	388	196,1	198	118
Ferro total (mg/L)	-	-	0,71	1,05	1,54	1,82	0,76	0,1	0,87	1,59	-	0,87
Nitrito (mg/L)	-	-	0,42	0,26	0,32	0,85	0,19	0,05	0,07	0,07	-	0,05
Nitrato (mg/L)	-	-	112,47	6,199	18,59	-	11,16	0,85	4,37	3,86	-	4,19
NH₃ (mg/L)	1,89	-	1,31	3,69	7,22	6,02	2,11	0	2,84	4,19	4,09	4,35
PO₄ (mg/L)	12,26	-	11,99	11,71	17,05	18,27	7,11	9,54	10,46	14,9	13,06	8,25
Oxigênio Dissolvido (mg O₂/L)	2,7	2	3,5	2,2	3,6	2,9	3	-	5,2	4,9	9,6	-

Tabela 11 - Valores obtidos para os parâmetros analisados em todas as amostras da água excedente do telhado verde com coroa-de-frade

Parâmetros físico-químicos	Coroa-de-frade											
	26/01	09/02	23/02	10 /03	29 /03	19/04	10/05	25/05	30/06	19/07	02/08	25/08
Cor Aparente (Pt/Co)	-	290	1208	419	366	838	419	142	-	-	532	152
Cor Verdadeira (Pt/Co)	409	392	1055	418	316	-	418	137	-	-	501	150
ST(mg/L)	450	240	532	536	360	1070	398	258	-	-	170	382
SDT(mg/L)	376	-	532	342	116	916	322		-	-		-
Turbidez (NTU)	6,78	2,32	1	5,45	23,5	3,07		2,4	-	-	25,7	2,82
Temperatura (°C)	26	26,7	29,8	28,6	27,6	22,5	23,1	23,3	-	-	20,7	21,93
pH	7,2	6,6	7,2	7,15	6,65	7,65	7,0	7,13	-	-	7,2	6,6
Alcalinidade Total (mg CaCO₃/L)	42,07	-	34,05	40,06	44,07	150,84	52,80	23,00	-	-	67,71	26,25
Dureza Total (mg CaCO₃/L)	95,04	134,64	104,94	59,4	77,22	166,32	85,14	110,9	-	-	93,88	65,31
Cloretos (mg Cl/L)	5,96	10,55	11,6	7,4	11,25	5,7	-	5,3	-	-	6,42	7,66
Condut. Elétrica (µS/cm)	173	171,5	215	138,1	161,5	245	135	109	-	-	170	131
Ferro total (mg/L)	-	-	1,14	1,28	1,56	2,47	0,69	0,4	-	-	-	0,55
Nitrito (mg/L)	-	-	0,46	1,476	0,33	0,39	0,52	0,09	-	-	-	0,04
Nitrato (mg/L)	-	-	38,08	80,14	21,78		5,98	0,84	-	-	-	0
NH₃ (mg/L)	2,82	-	1,92	3,87	5,95	9,25	2,61	0	-	-	5,2	2,31
PO₄ (mg/L)	11,77	-	14,90	13,49	15,45	23,73	7,88	14,13	-	-	17,94	4,94
Oxigênio Dissolvido (mg O₂/L)	6,9	2,1	3,3	4	3,5	3,7	2,3	-	-	-	8,6	-

Tabela 12 - Valores obtidos para os parâmetros analisados em todas as amostras da água excedente do telhado controle.

Parâmetros físico-químicos	Controle											
	26/01	09/02	23/02	10/03	29/03	19/04	10/05	25/05	30/06	19/07	02/08	25/08
Cor Aparente (Pt/Co)	-	19	25	27	30	2	27	1	7	6	5	9
Cor Verdadeira (Pt/Co)	7	5	3	26	27	-	26	2	4	2	3	4
ST(mg/L)	74	6	40	42	108	82	146	30	1438	38	92	74
SDT(mg/L)	28	-	80	0	28	54	86	-	-	74	-	-
Turbidez (NTU)	13,68	0,6	1,4	0,74	1,91	1,12	-	0,86	0,49	0,6	0,69	1,47
Temperatura (°C)	24,3	29,4	28,5	29,1	29,5	23,8	24	23,92	23,1	21,2	23,8	21,91
pH	7,2	6,6	6,4	6,8	6,7	6,8	5,3	6,7	6,9	7	7	6,5
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	8,01	-	5,01	12,02	8,01	136,22	7,51	16,00	79,33	10,62	8,41	4,38
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	39,6	11,88	27,72	21,78	15,84	61,38	61,38	73,3	25,74	24,49	14,29	18,37
Cloretos (mg Cl/L)	2,09	9,91	5,91	4,14	5,92	2,97	10,7	5,3	4,85	4,69	5,56	5,19
Condut. Elétrica (µS/cm)	18	29,6	32,5	17,47	18,53	30,2	50	21	25	32,6	29	50
Ferro total (mg/L)	-	-	0	0,05	0,07	0,01	0,05	0,02	0	0,03	-	0
Nitrito (mg/L)	-	-	0,26	0,033	0,065	0,033	0,03	0,01	0,03	0,01	-	0,02
Nitrato (mg/L)	-	-	17,26	0,39	1,5	2,34	11,96	2,52	0	0	-	0
NH ₃ (mg/L)	0,78	-	0,61	0,25	0,49	0,28	0,00	1,6	2,84	0,24	0,19	0,17
PO ₄ (mg/L)	1,56	-	1,17	0,36	0,52	0,79	0,18	1,69	0,46	0	0,86	0,00
Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ /L)	5,4	1,2	3,2	2,3	7	3,4	3,6	-	5,2	6,4	11,9	-

4.3.1 Cor

A cor da água, quando apresenta valor elevado, pode ser detectada a olho nu, causando rejeição por parte dos consumidores. Em todas as coletas realizadas a cor apresentou valores maiores para os telhados verdes em relação ao telhado controle (Figuras 23 e 24). O telhado com vegetação coroa-de-frade apresentou valores maiores para os parâmetros cor real e cor aparente em relação ao telhado vegetado com grama-de-burro. Tal fato se deve principalmente à estrutura da vegetação cactácea, que apesar de ter uma raiz central para fixar a planta ao solo e raízes superficiais que se encontram bem rente à terra, não seguram o solo, possibilitando assim o carreamento de partículas do mesmo. Na coleta do dia 23 de fevereiro os valores mais elevados de cor real e aparente podem ser justificados devido ao evento chuvoso de 30,3 mm que ocorreu horas antes da coleta, que acabou por provocar o carreamento de uma quantidade maior do substrato para dentro dos tonéis de armazenamento, bem como o revolvimento da água armazenada.

Na Figura 24 estão apresentados os valores correspondentes ao parâmetro cor real obtidos dos telhados estudados. Os valores próximos encontrados para cor real e cor aparente indicam que a cor da água captada dos telhados verdes tem como origem principal partículas finas que se encontram dissolvidas na água, sendo estas mais difíceis de remover do que partículas em suspensão. Tal fato pode ser considerado um indicativo de falha no meio filtrante, que pode estar permitindo a passagem de partículas que podem levar à colmatção da camada drenante.

Com relação ao uso para o consumo humano, de acordo, estabelece que o valor máximo permitido para a cor aparente é 15 uH (Unidade Hazen – mg Pt–Co/L). Este valor é o mesmo adotado na Tabela 1 da NBR 15.527/2007 para usos mais restritivos de aproveitamento de água de chuva.

Os resultados encontrados para este parâmetro na água oriunda dos telhados com vegetação estão acima do valor máximo estabelecido na Tabela 1 da NBR 15.527/2007 (para usos mais restritivos de aproveitamento de água de chuva) e do valor permitido no Anexo X (Tabela de padrão organoléptico de potabilidade) da Portaria Nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde – MS (procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água e seu padrão de potabilidade), que é de até 15 Pt/Co em ambos os casos. No que se refere à água escoada do telhado controle, este parâmetro se mostrou acima dos limites estabelecidos nas normas citadas nos resultados de cinco amostras coletadas. Tal fato, entretanto, foi associado ao carreamento de partículas que estavam sobre os telhados.

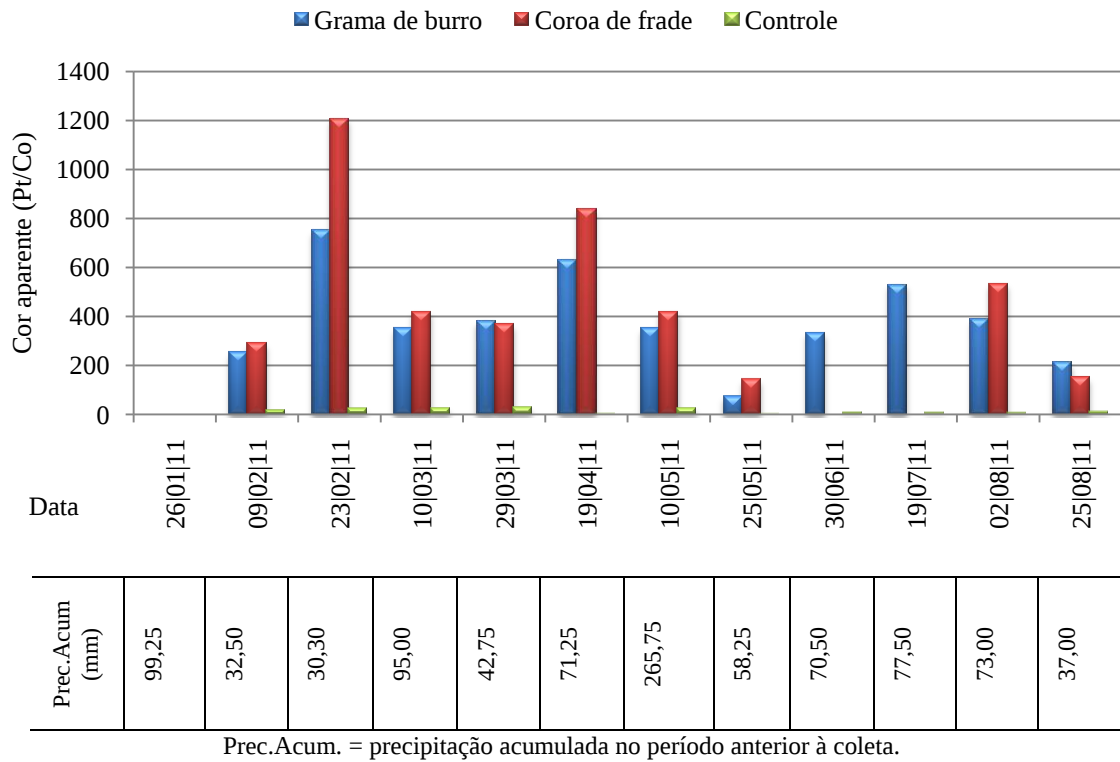


Figura 23 - Valores observados de cor aparente na água armazenada nos tonéis.

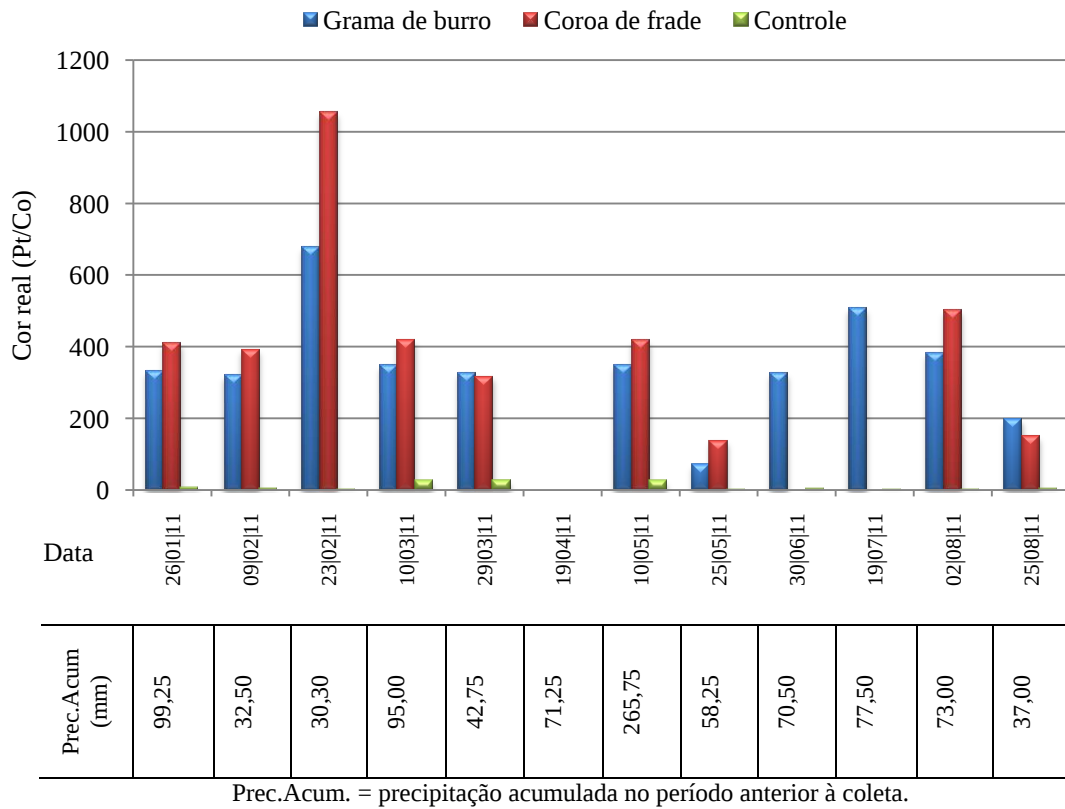


Figura 24 - Valores observados de cor real na água armazenada nos tonéis.

4.3.2 Turbidez

Dos resultados obtidos (Figura 25), é possível observar que na coleta do dia 26 de janeiro a água armazenada no tonel estava mais turva, ou seja, com maior quantidade de partículas em suspensão, para todos os telhados. No caso do telhado controle, este valor se justifica pelo período de 21 dias sem precipitação ou com ocorrência de precipitação inferior a 10 mm, seguidos por um evento chuvoso acumulado de quase 100 mm, em três dias, imediatamente antes do dia da coleta (Figura 21a). Além disso, a realização do experimento de chuva, realizado no dia 21 de janeiro, pode ter contribuído para o acúmulo de partículas na água armazenada no tonel, justificando assim os valores elevados também observados na água oriunda dos telhados com vegetação. Nas demais coletas, verificou-se que o resultado da turbidez da água coletada do telhado controle se manteve baixo (menor que 2 NTU). No que se refere aos telhados com vegetação, os maiores valores observados na água armazenada no tonel ocorreram na coleta de 29 de março, não tendo sido observada nenhuma relação com valores elevados dos outros parâmetros monitorados na mesma coleta.

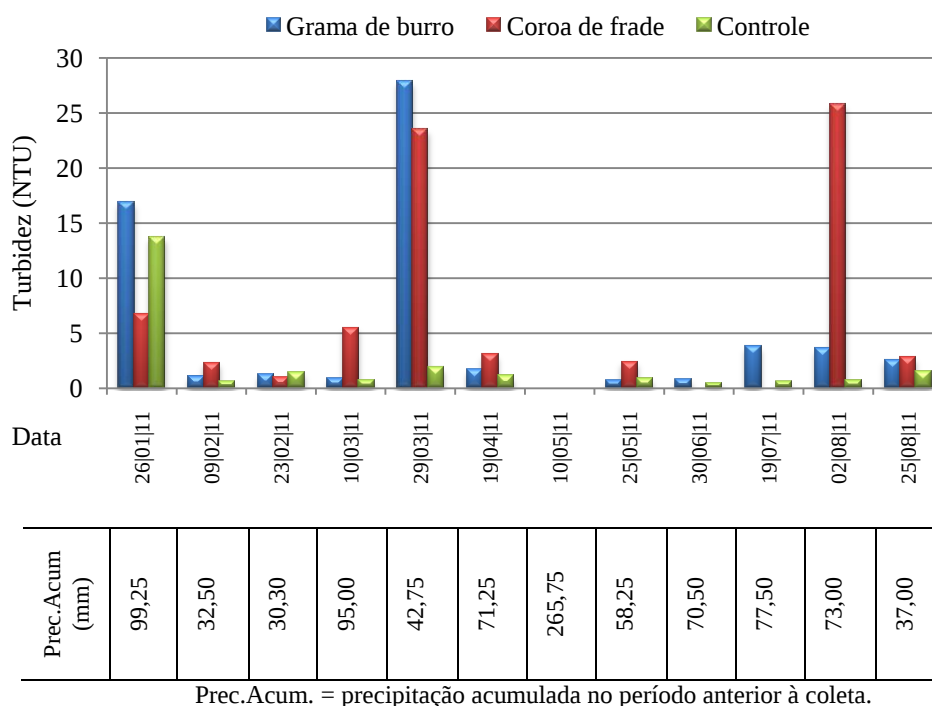


Figura 25 - Valores observados de turbidez na água armazenada nos tonéis.

Na coleta do dia 2 de agosto, observa-se que a água oriunda do telhado com coroa-de-frade apresentou-se com um alto valor de turbidez, o que pode ser resultante do acúmulo de material particulado por conta do entupimento ocorrido na saída de água deste telhado, que, conforme explicado anteriormente, apesar de ter sido identificado e corrigido no dia 30

de junho e ter sido recorrente na coleta do dia 19 de julho, com a devida correção, pode, mesmo assim, ter influenciado no resultado deste parâmetro para a referida amostra. Nas demais amostras, os resultados obtidos para o parâmetro turbidez encontram-se dentro dos limites estabelecidos no Anexo X da Portaria Nº 2.914/2011 do MS, na Tabela 1 da NBR 15.527/2007 para usos mais restritivos de aproveitamento de água de chuva, e dentro dos limites de classificação como Classe 1 e 2 da NBR 13.969/1997 que é de até 5 NTU.

4.3.3 pH

Nas amostras coletadas nos telhados verdes e no telhado controle, os valores de pH encontrados estão próximos a 7 (Figura 26), ou seja, próximos da neutralidade, indicando a não existência de contaminantes ácidos ou alcalinos (SANTOS *et al.*, 2011).

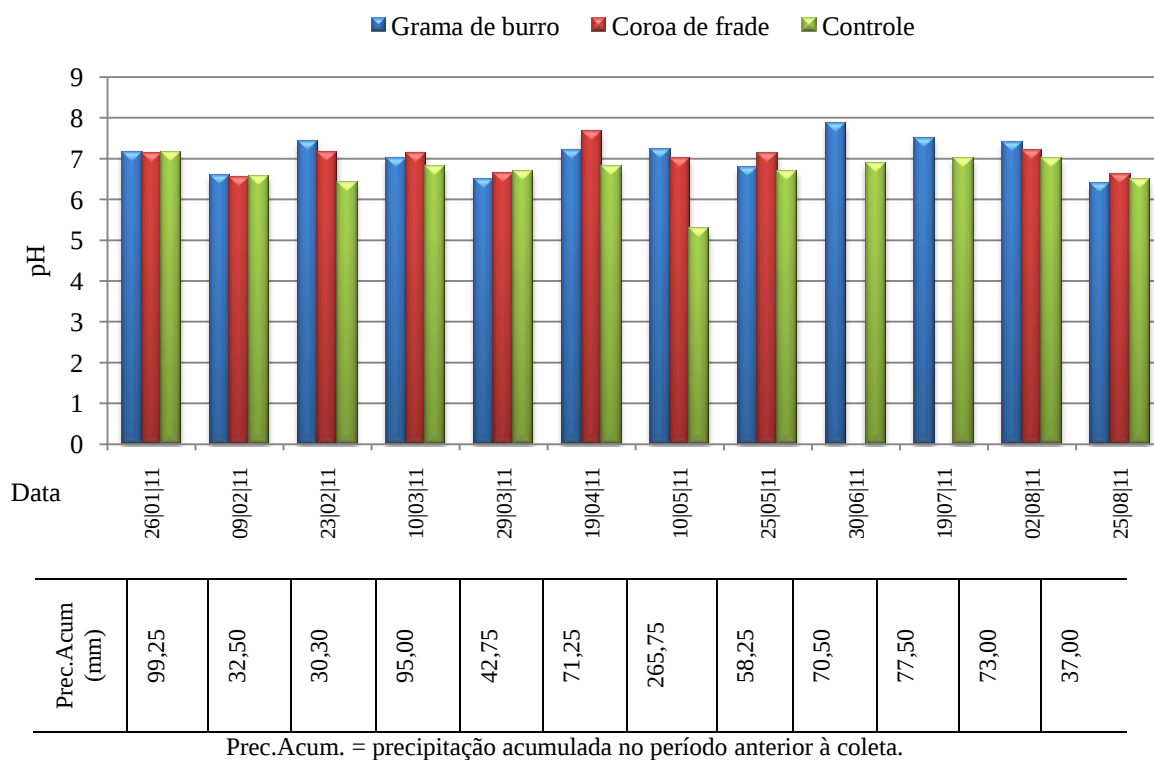


Figura 26 - Valores observados de pH na água armazenada nos tonéis.

As maiores variações de pH (máxima de 1,9) foram observadas no telhado controle, com mínimo de 5,3 no dia 10 de maio e máximo de 7,2 no dia 26 de janeiro. Tal fato pode ser atribuído às reações químicas ocorridas após dissolução de substâncias presentes no sistema de captação, como matéria orgânica, poeiras, restos de folhas e animais, entre outros (SOUZA, 2009). Na água oriunda do telhado com grama-de-burro observou-se uma variação máxima de 1,5, com mínimo de 6,4 no dia 25 de agosto e máximo de 7,9 no dia 30 de junho;

no caso do telhado com cora-de-frade, estes valores extremos foram de 6,6 nos dias 9 de fevereiro e 25 de agosto, e de 7,65 no dia 19 de abril, com uma variação máxima de 1,05.

Com exceção da amostra coletada oriunda do telhado controle em 10 de maio, todas as outras amostras tiveram resultados dentro dos limites estabelecidos pelas normas, que é de 6,0 a 8,0 na Tabela 1 da NBR 15.527/2007 e para o enquadramento como classe 1 da NBR 13.969/1997, e de 6,0 a 9,0 na Tabela 5 da NBR 13.969/1997. No que se refere à Portaria nº 2.914/2011, os valores encontrados se encontram na faixa recomendada para o sistema de distribuição, que é de 6,0 a 9,5. Com relação ao emprego da água na irrigação, os valores encontrados estão dentro da faixa recomendada, de 6,0 a 8,5, pela EMBRAPA na publicação “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010).

4.3.4 Alcalinidade

Conforme mostrado na Figura 27, os telhados verdes apresentaram valores de alcalinidade superiores aos do telhado controle. Segundo Santos *et al.* (2011), tal fato se deve à presença de fertilizantes que possuem silicatos e fosfatos, que são substâncias alcalinas. Esses fertilizantes são encontrados na composição do substrato dos telhados verdes. Segundo Trani (2004), no que se refere à qualidade da água que será utilizada tanto para irrigação como para fertirrigação, a faixa satisfatória para alcalinidade bicarbonato é de 60 a 120 mg CaCO_3/L . No que se refere ao limite inferior apresentado por Trani (2004), com exceção das amostras dos três telhados coletadas em 19 de abril, das amostras de água proveniente do telhado com grama-de-burro coletadas em 10 de maio, 19 de julho e 02 de agosto, da amostra de água proveniente do telhado com coroa-de-frade coletada em 02 de agosto e da amostra de água proveniente do telhado controle coletada em 30 de junho, todas as amostras apresentaram valores abaixo de 60 mg CaCO_3/L . As amostras coletadas dos três telhados no dia 19 de abril e a amostra proveniente do telhado com grama-de-burro coletada em 19 de julho resultaram em valores acima de 120 mg CaCO_3/L .

Sabendo-se que a alcalinidade está relacionada com o pH, pois afeta a quantidade de ácido necessária para mudar o pH, ambos os parâmetros (alcalinidade e pH) são importantes na consideração do ajuste do pH da água. De acordo com Bailey & Bilderback (1997), se a alcalinidade da água de irrigação estiver acima de 100 mg CaCO_3/L , é necessário considerar a possibilidade de injeção de um ácido para neutralizar os bicarbonatos e prevenir a subida do pH do substrato com o tempo. Considerando-se os resultados obtidos nesta pesquisa (Figura 27), apenas as amostras coletadas no dia 19 de abril proveniente dos três telhados e a amostra

de água proveniente do telhado com grama-de-burro coletada em 19 de julho apresentaram valores acima de 100 mg CaCO₃/L.

Por outro lado, a ocorrência de valores mais elevados de alcalinidade na água proveniente do telhado convencional nos dias 19 de abril e 19 de julho indicam que nestes dias os resultados obtidos não estão relacionados com a presença de substrato. Neste contexto, os altos valores obtidos nestas duas coletas podem estar associadas com as características do material depositado sobre os telhados durante o período de estiagem e que foram carreados no momento da chuva, como observado por Anecchini (2005).

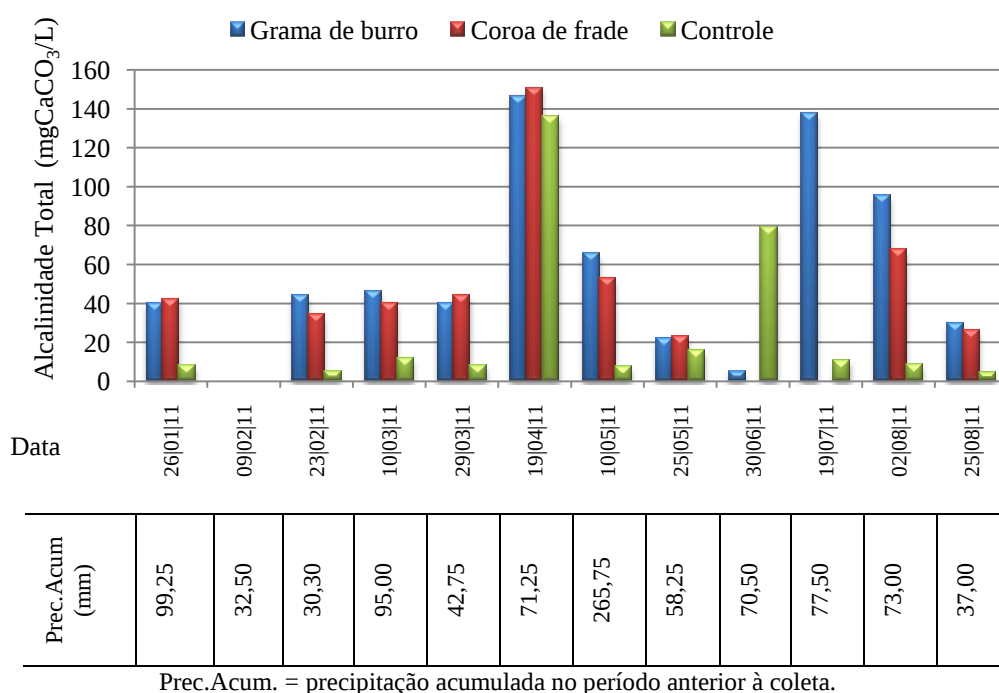


Figura 27 - Valores observados de alcalinidade na água armazenada nos tonéis.

4.3.5 Dureza total

Segundo Piveli & Kato (2005), a principal fonte de dureza nas águas é a sua passagem pelo solo. Portanto justificam-se os valores mais elevados de dureza encontrados, no âmbito desta pesquisa, nas amostras coletadas dos telhados com vegetação e substrato do que no telhado controle (Figura 28). Comparando-se os valores de dureza total, resultantes das análises realizadas, com os limites de concentração de mgCaCO₃ (indicados pelas linhas tracejadas na Figura 28) estabelecidos por Sawyer *et al.* (1994 apud ANTAS, 2011) para classificação da água, verifica-se que na maioria dos resultados, as amostras de água analisadas encontravam-se na faixa de moderadamente dura.

O valor máximo encontrado para o parâmetro dureza total foi de 247,5 mgCaCO₃/L para a amostra de água coletada em 19 de abril de 2011 oriunda do telhado com grama-de-burro. Considerando o valor máximo permitido, de 500 mgCaCO₃/L, no Anexo X da Portaria Nº 2.914/2011 do MS, todas as amostras encontram-se dentro do limite de potabilidade.

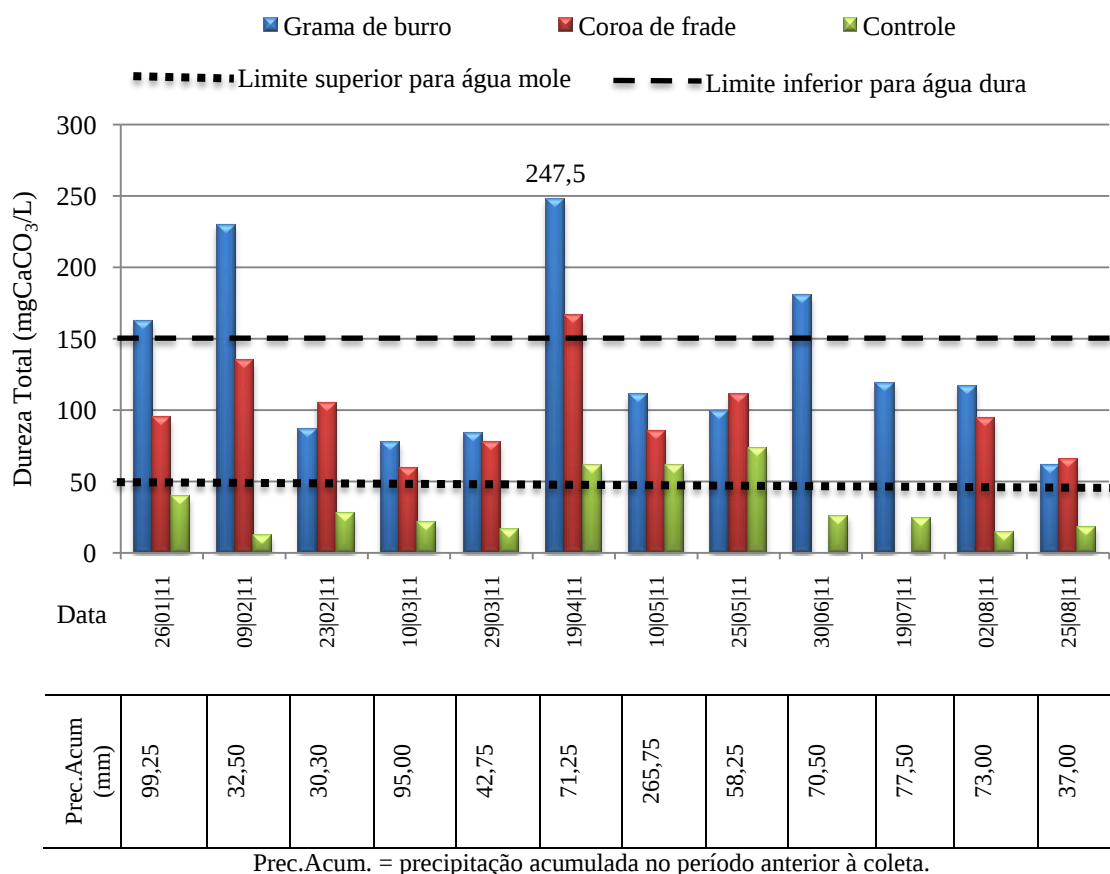


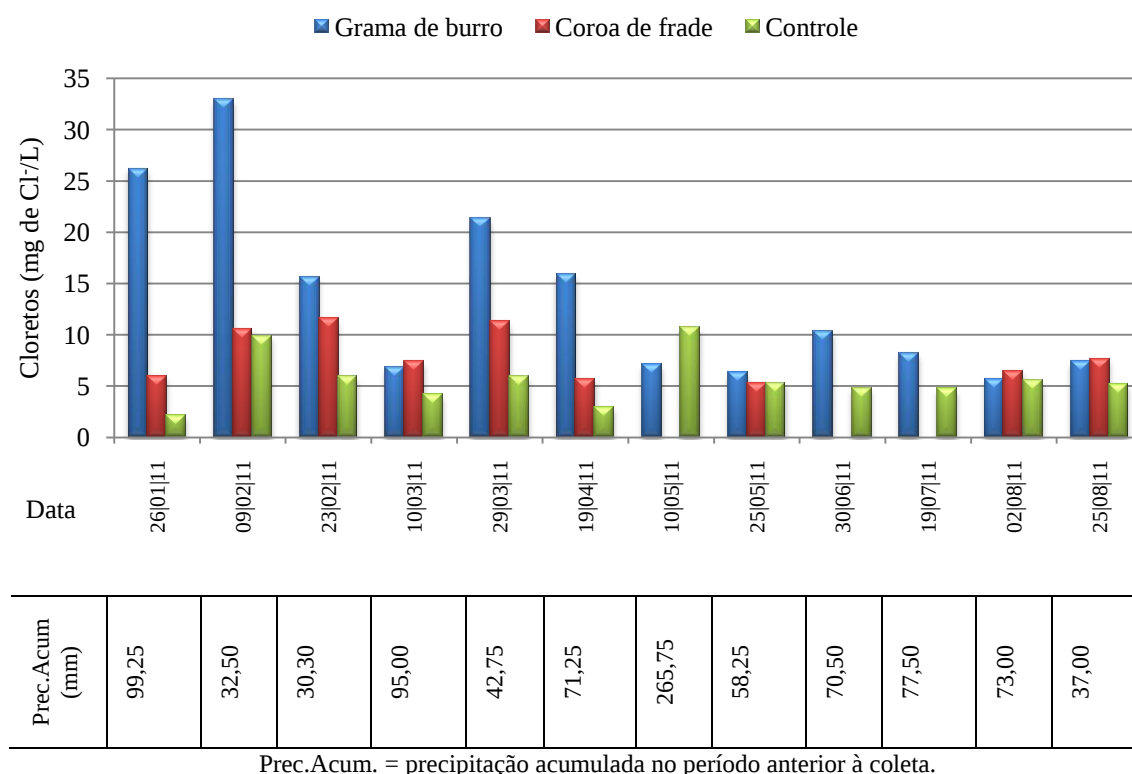
Figura 28 - Valores observados de dureza total na água armazenada nos tonéis.

4.3.6 Cloretos

Exceto pelo resultado da amostra de água oriunda do telhado com grama-de-burro no dia 09 de fevereiro, em todas as outras amostras coletadas as concentrações de cloretos foram abaixo de 30 mg/L, sendo o telhado verde com grama-de-burro o que apresentou concentrações mais elevadas deste ânion, conforme apresentado na Figura 29. Para o telhado com coroa-de-frade o valor máximo de concentração de cloreto ocorreu no dia 23 de fevereiro e foi da ordem de 11,6 mg/L. Persch, Tassi & Allasia (2011) encontraram valores de cloretos da ordem de 2,5 mg/L para o telhado verde e 1,25 mg/L para o telhado convencional, valores abaixo do encontrado por esta pesquisa. Mesmo assim, pode-se considerar que os valores encontrados são tão baixos que não representam preocupação quanto às possibilidades de uso

da água oriunda dos telhados, neste contexto, de acordo com Costa Filho (1997), apenas concentrações de cloreto da ordem de 300 mg/L podem ser notadas por pessoas de paladar sensível, sendo valores acima de 1.500 mg/L não tolerados por seres humanos.

Os resultados obtidos atendem ao estabelecido no Anexo X da Portaria N° 2.914/2011 do MS que estabelece o limite do ânion Cl^- em água potável até 250 mg/L, e estão bem abaixo do limite recomendado na publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), 30 meq/L ou 1.063,80 mg/L.



Prec.Acum. = precipitação acumulada no período anterior à coleta.

Figura 29 - Valores observados de cloretos na água armazenada nos tonéis.

4.3.7 Condutividade elétrica

Conforme mostrado na Figura 30, os telhados verdes apresentaram valores maiores de condutividade elétrica em relação ao telhado controle, principalmente o telhado verde com grama-de-burro, que apresentou os valores mais altos e, em quatro amostras analisadas, superiores a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os valores máximos observados para a água oriunda dos dois telhados vegetados ocorreu no dia 19 de abril e foram 245 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o telhado com coroa-de-frade e 467 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o telhado com grama-de-burro. No caso do telhado convencional o valor máximo foi de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ observado nas coletas dos dias 10 de maio e 25 de agosto. Os resultados obtidos nesta pesquisa se aproximam dos resultados obtidos por Persch, Tassi &

Allasia (2011), que foram 377 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 69,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o telhado verde o telhado convencional respectivamente.

Santos *et al.* (2011) associam a ocorrência desses valores, para a água oriunda dos telhados vegetados, à presença de matéria orgânica, que com o passar do tempo pode estar sujeita à decomposição liberando seus nutrientes no solo, por onde a água escoada irá passar. Os autores justificam os valores mais elevados de condutividade elétrica para o teto com grama-de-burro devido ao mesmo estar com uma quantidade de nutrientes maior em seu substrato que o teto com coroa-de-frade, devido ao tratamento diferenciado, à base de fertilizantes, necessário ao desenvolvimento da grama-de-burro.

Os valores encontrados de condutividade elétrica, em todas as amostras analisadas estão bem abaixo do valor máximo aceitável para a água ser destinada à irrigação, que é de 3 dS/m ou seja, 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, conforme a publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010).

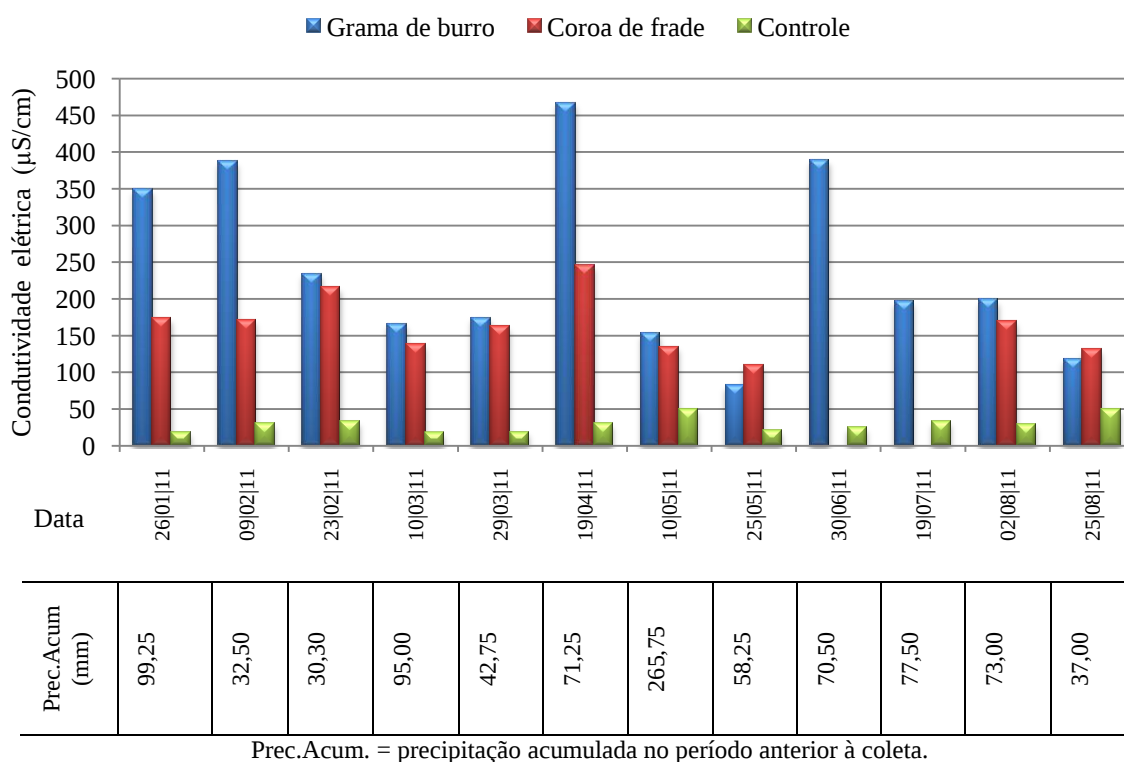


Figura 30 - Valores observados de condutividade elétrica na água armazenada nos tonéis.

4.3.8 Ferro

Como é de esperar, os telhados com vegetação apresentaram valores maiores para este parâmetro, uma vez que a principal fonte de ferro em águas é a sua passagem pelo solo (Figura 31). As maiores concentrações ocorreram na coleta do dia 19 de abril e foram de 2,47

mg/L para a água oriunda do telhado com coroa-de-frade e de 1,82 mg/L para a água do grama-de-burro. A concentração máxima observada para o telhado convencional foi de 0,07 mg/L no dia 29 de março, que, conforme a Tabela 6, está abaixo do limite de quantificação inferior da metodologia aplicada na sua determinação que é de 0,10 mg/L.

No que se refere à legislação citada neste trabalho, exceto para a amostra oriunda do telhado com grama-de-burro, coletada no dia 25 de maio, todas as demais amostras oriundas dos telhados vegetados apresentaram concentração de ferro superior ao valor máximo permitido no Anexo X da Portaria N° 2.914/2011 do MS, que é de 0,3 mg/L. Por outro lado, apenas uma amostra (do telhado com coroa-de-frade do dia 19 de abril) resultou em concentração superior a 2,4 mg/L, que corresponde à tolerância adotada desde que o elemento ferro esteja complexado com produtos químicos comprovadamente de baixo risco à saúde e que os valores máximos permitidos dos demais parâmetros do padrão de potabilidade não sejam violados.

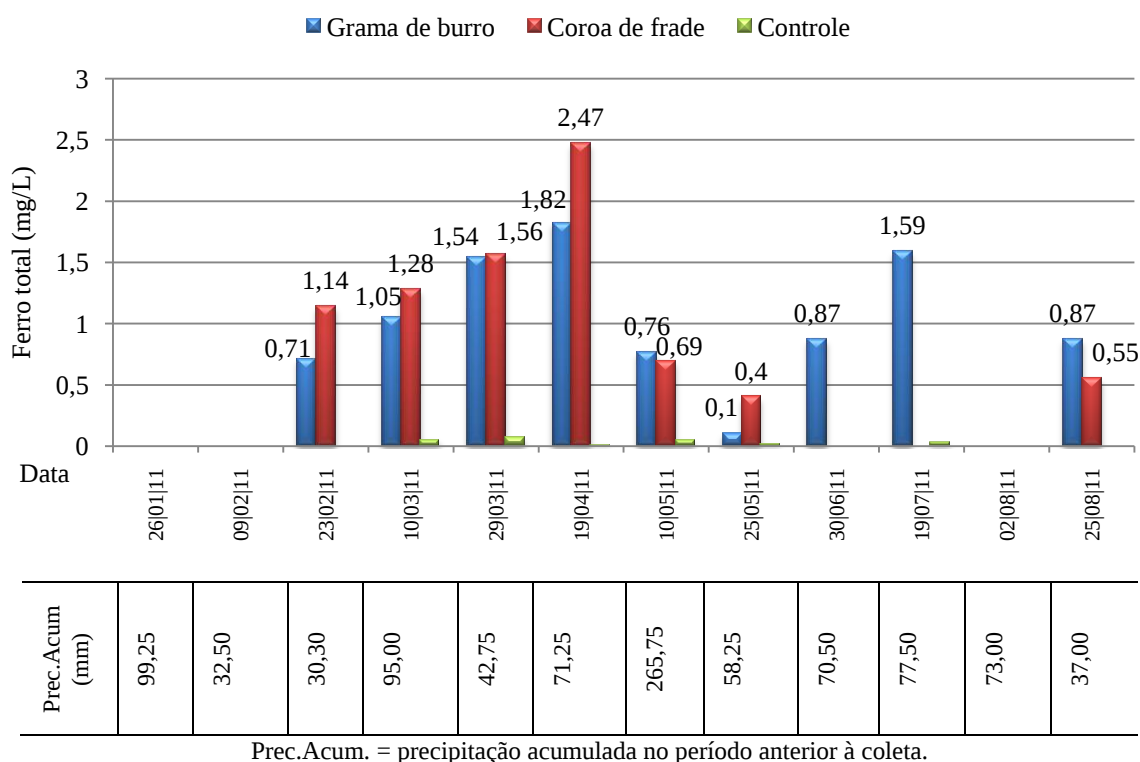


Figura 31 - Valores observados de Ferro total na água armazenada nos tonéis

4.3.9 Nitrogênio

Tal como explicitado anteriormente, o nitrogênio pode ser encontrado em diversas formas, tendo sido analisados nesta pesquisa o nitrogênio na forma de nitrito, nitrato e

amônia. Em geral, a presença de nitrogênio em suas diversas formas na água captada dos telhados verdes está associada à presença de excrementos animais, bem como ao uso de fertilizantes. No caso do nitrato o maior valor ocorreu no dia 23 de fevereiro para a água oriunda do telhado com grama-de-burro e foi de 112,5 mg/L, enquanto que no caso do nitrito este valor máximo ocorreu no dia 10 de março para a água oriunda do telhado com coroa-de-frade e foi de 1,48 mg/L. A ocorrência de quantidade maior de nitrogênio na forma de nitrato (N-NO_3) em relação ao nitrito (N-NO_2) (Figura 32), foi associada por Garcez (2004) ao fato que o nitrito é uma forma instável de Nitrogênio, podendo ser facilmente oxidada a nitrato.

Segundo Teemusk & Mander (2007), a concentração de nitrogênio nas diversas formas nos telhados verdes tende a diminuir à medida que eles atingem a estabilidade. Neste caso, pode-se observar que as concentrações de nitrogênio nas formas de nitrito e nitrato diminuíram à medida com o passar do tempo, não tendo sido, inclusive, detectados em algumas análises.

Com relação à concentração de nitrogênio na forma de amônia, verificou-se que os maiores valores foram observados nos dias 29 de março e 19 de abril na água oriunda, respectivamente, dos telhados com grama-de-burro, de 7,2 mg/L, e coroa-de-frade, de 9,3 mg/L. Exceto nesses dois dias, todas as amostras analisadas apresentaram concentração de nitrogênio amoniacal inferior a 5,5 mg/L, sendo que o valor máximo observado para a água oriunda do telhado convencional foi de 1,6 mg/L no dia 25 de maio. Com apenas uma exceção (do dia 25 de maio), em todas as amostras de água provenientes do telhado convencional as concentrações de nitrogênio amoniacal estiveram abaixo de 1 mg/L, sugerindo que a ocorrência de amônia está associada à presença de fertilizantes nos substratos.

Teemusk & Mander (2007) afirmaram ainda que a intensidade do evento chuvoso influencia na quantidade de nitrogênio, sendo que, em eventos chuvosos intensos, predomina o nitrogênio na forma amoniacal, devido à vegetação e ao tipo de substrato. O comportamento dos parâmetros obtidos, entretanto, não foi analisado considerando-se variações nas intensidades dos eventos de chuva.

No que se refere à legislação considerada, observou-se que, exceto pela amostra do dia 10 de março para o telhado com coroa-de-frade, todas as amostras resultaram em concentrações de nitrogênio na norma de nitrito inferiores ao valor máximo permitido no Anexo VII da Portaria Nº 2.914/2011 do MS, que é de 1 mg/L.

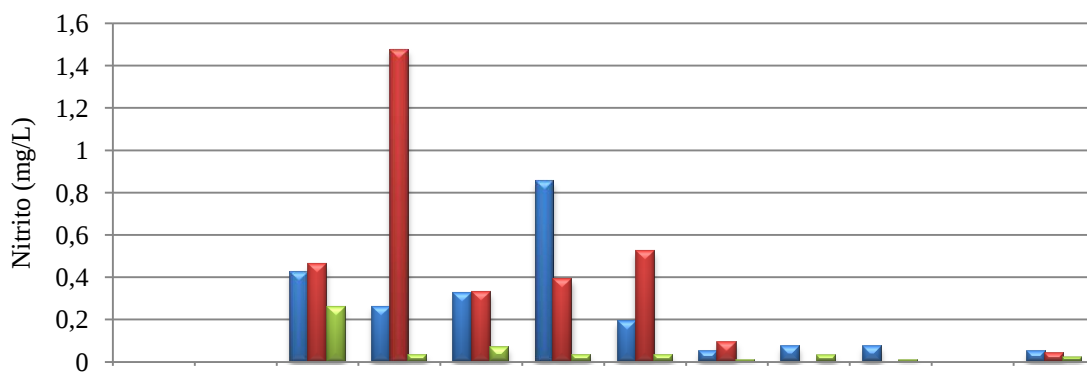
Com relação ao nitrogênio na forma de nitrato, verificou-se a ocorrência de valores acima do limite máximo permitido no Anexo VII desta mesma Portaria, para a água potável, e

aceitável para irrigação, conforme publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), de 10 mg/L, até a coleta do dia 10 de maio, momento a partir do qual, não foram registrados valores superiores ao limite máximo em nenhuma amostra coletada.

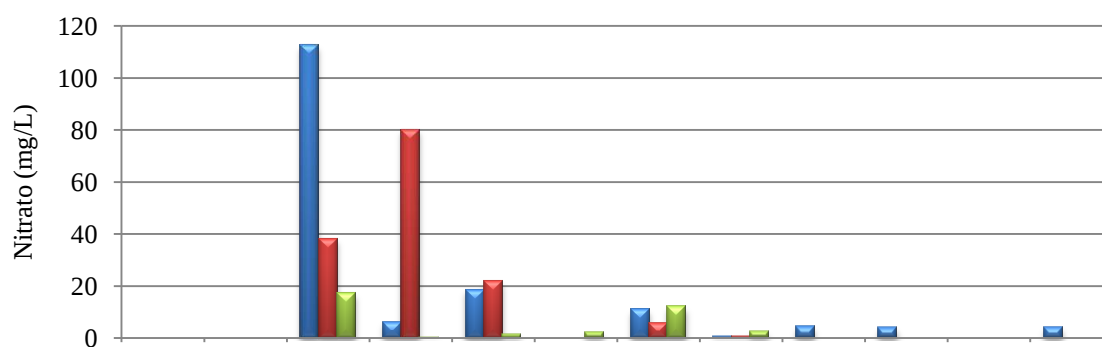
Analisando-se os resultados de concentração de amônia, verifica-se que a água oriunda dos telhados vegetado não atendem ao valor máximo deste parâmetro para a água potável, que de acordo com o Anexo X da Portaria Nº 2.914/2011 do MS, é de 1,5 mg/L, exceto para a amostra da água proveniente do telhado com grama-de-burro coletada no dia 23 de fevereiro que foi de 1,3 mg/L. Por outro lado, os resultados da concentração de nitrogênio amoniacal das amostras provenientes do telhado convencional, exceto pela amostra coletada em 25 de maio, estiveram abaixo do valor máximo permitido, de 1,5 mg/L. No que se refere ao uso na irrigação, exceto pelas amostras coletadas de ambos os telhados vegetados nos dias 29 de março e 19 de abril e pela amostra de água oriunda do telhado com coroa-de-frade coletada no dia 02 de agosto, todas as demais amostras se mantiveram com valores de concentração de nitrogênio na forma de amônia inferiores ao aceitável que, segundo a publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), é de 5 mg/L.

4.3.10 Fósforo

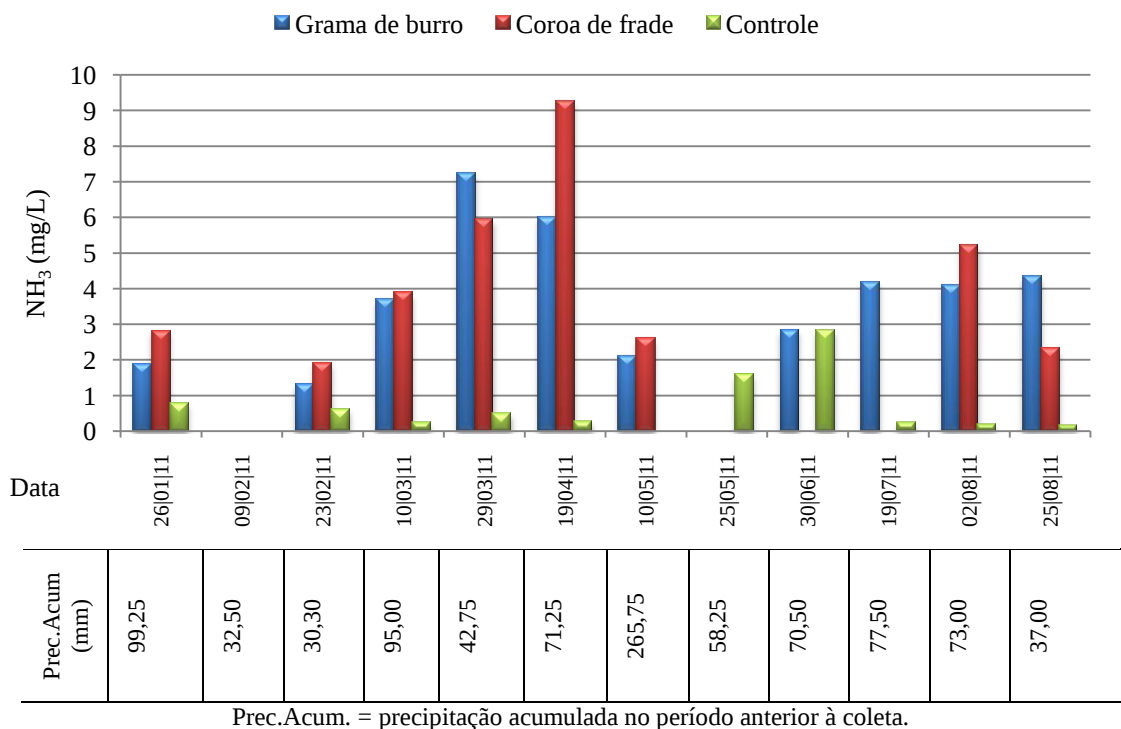
O fósforo na forma de fosfato foi encontrado principalmente nos telhados verdes, devido à presença de substrato e dos fertilizantes utilizados. Além disso, outra fonte de fósforo importante nos telhados verdes é a decomposição da matéria orgânica, neste caso, a própria vegetação. Observa-se na Figura 33 que os valores encontrados para o telhado verde com cacto são, na maioria das vezes, maiores do que os valores observados no telhado com grama. Tal fato pode ser explicado devido à própria morfologia do cacto, que tem uma raiz central para fixar a planta ao solo e raízes superficiais que se encontram bem rente à terra, mas não seguram o solo, deixando soltas as partículas de solo e facilitando o arraste destas pela precipitação.



(a) Valores observados de nitrito na água armazenada nos tonéis.



(b) Valores observados de nitrato na água armazenada nos tonéis.



(c) Valores observados de amônia na água armazenada nos tonéis.

Figura 32 - Valores observados para o nitrogênio nas formas de nitrito, nitrato e amônia na água armazenada nos tonéis.

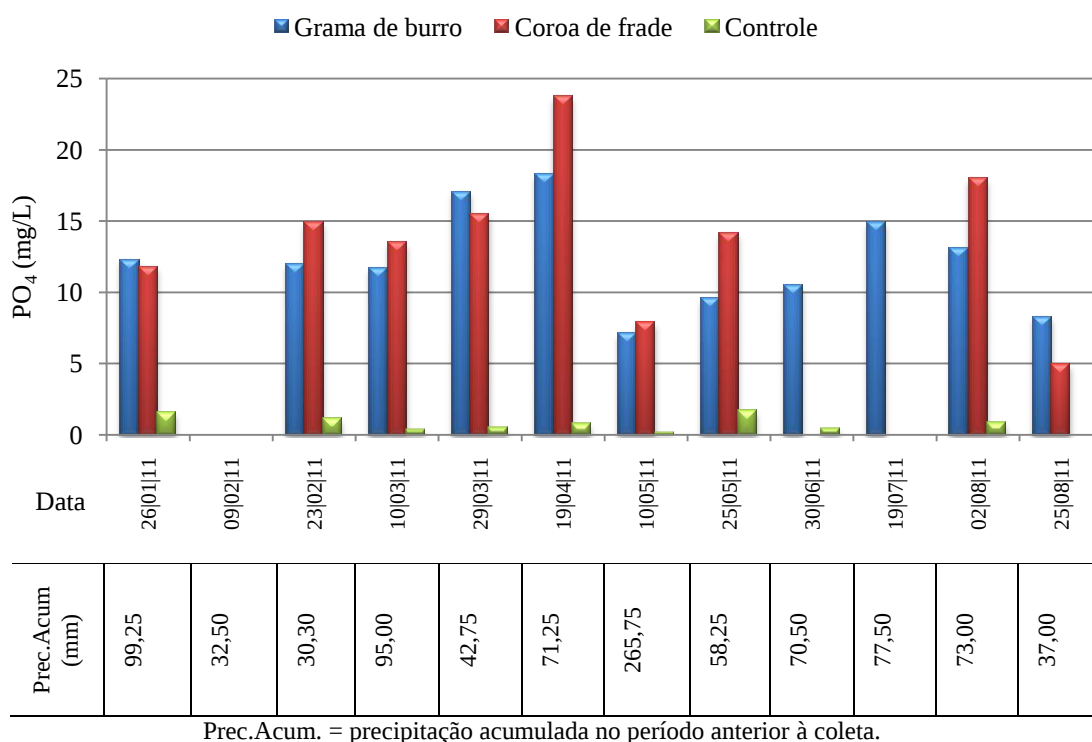


Figura 33 - Valores de fósforo observados na água armazenada nos tonéis.

Os valores mais altos de fósforo foram encontrados nas amostras de 29 de março e 19 de abril, quando ocorreram eventos de precipitação anteriormente à coleta. Na coleta do dia 10 de maio, apesar da ocorrência de eventos chuvosos anteriores à coleta, os valores mais baixos de fósforo podem ser justificados devido à quantidade precipitada, que acabou por diluir o fósforo presente na água armazenada. Teemusk & Mander (2007) afirmam que, em eventos chuvosos moderados, o substrato dos telhados verdes é capaz de reter o fósforo. Entretanto, em eventos chuvosos intensos, o fósforo é carregado pela água.

O fósforo não é um parâmetro considerado pelas normas como indicador de qualidade da água. Entretanto, sua importância como nutriente essencial ao desenvolvimento das plantas justifica a inclusão deste parâmetro como indicador da qualidade da água.

No que se refere à possibilidade de uso da água para irrigação, verificou-se que todas as amostras coletadas dos telhados vegetados apresentaram concentração de fósforo acima do valor aceitável, conforme publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), que é de 2 mg/L. Por outro lado, em todas as amostras da água escoada do telhado convencional verificou-se a ocorrência de valores inferiores ao recomendado na referida publicação.

4.3.11 Oxigênio Dissolvido

A quantidade OD está relacionada com a presença de matéria orgânica e com a intensidade da precipitação. Considerando a aeração que ocorre na água armazenada no interior dos tonéis por conta da entrada da água que escoar dos telhados, é de se esperar um aumento nos valores deste parâmetro logo após a ocorrência de precipitação. Neste contexto, conforme apresentado na Figura 34, os dias com maiores valores de oxigênio dissolvido foram 29 de março e 02 de agosto, que, de acordo com a Tabela 9, corresponderam a um período anterior sem chuva de 1 dia. O menor valor deste parâmetro foi observado no dia 09 de fevereiro para o telhado convencional e foi de 1,2 mg/L, não sendo possível, entretanto, associar este valor à quantidade de água precipitada, uma vez que a coleta aconteceu após a realização do experimento de chuva.

Os resultados da concentração de oxigênio dissolvido indicam que todas as amostras coletadas atendem à quantidade mínima deste parâmetro conforme Tabela 5 da NBR 13.969, para destinação direta à galeria de águas pluviais, que é de 1,0 mg/L, bem como ao limite mínimo de concentração para classificação como de classe 4.

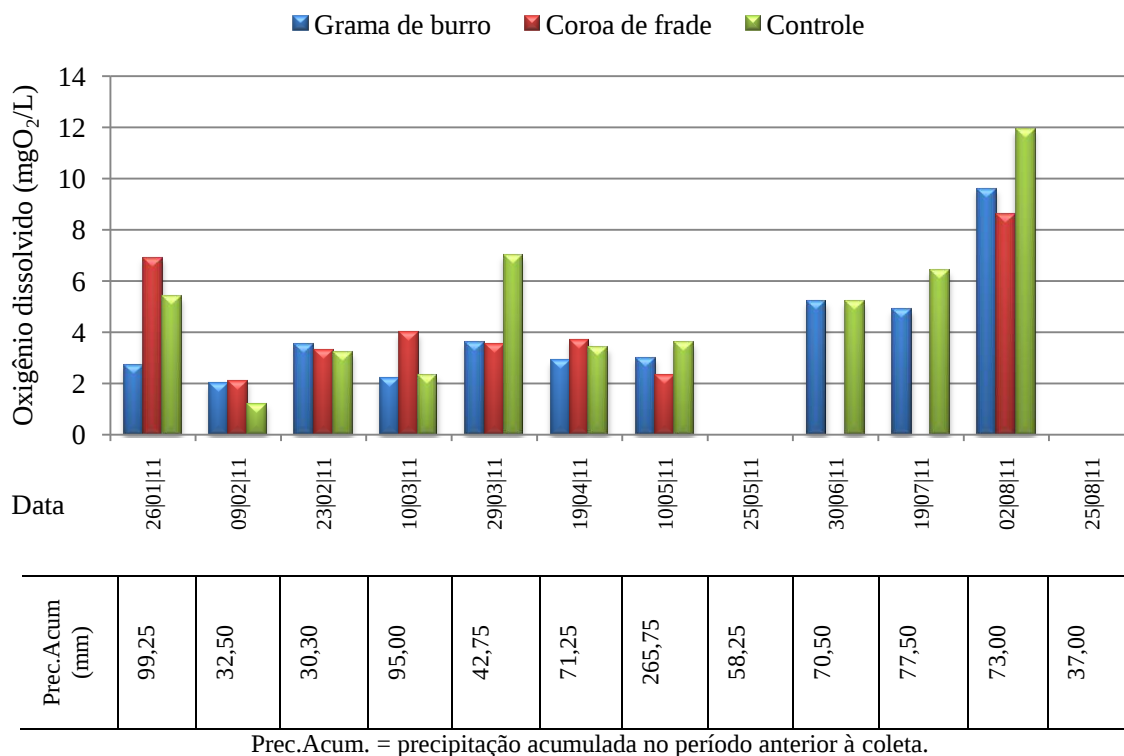


Figura 34 - Valores observados de OD na água armazenada nos tonéis.

4.3.12 Temperatura

Os resultados de temperatura obtidos não variaram muito (Tabelas 10, 11 e 12), tendo sido encontrados os menores valores nas coletas dos dias 02 de agosto para a água proveniente do telhado com grama-de-burro (21,2°C) e do telhado com coroa-de-frade (20,7°), sendo que para a água proveniente do telhado convencional, o menor valor observado ocorreu no dia 19/07 e foi de 21,2°. De forma análoga, os maiores valores encontrados de temperatura para a água proveniente dos telhados vegetados ocorreram no dia 23 de fevereiro e foram de 28,8° para a água do telhado com grama-de-burro e 29,8° para a água do telhado com coroa-de-frade, sendo que para o telhado convencional o maior valor foi de 29,5° e ocorreu em 29 de março.

No que se refere à legislação citada, todas as amostras apresentaram valor de temperatura inferior ao máximo permitido na Tabela 5 da NBR 13.969, para destinação direta à galeria de águas pluviais, que é de 40°C.

4.3.13 Sólidos Dissolvidos Totais

Os resultados de sólidos dissolvidos totais obtidos variaram consideravelmente na água proveniente dos telhados vegetados, conforme apresentado nas Tabelas 10 e 11, sendo que os menores valores foram encontrados no dia 29 de março e foram 96 mg/L para a água oriunda do telhado com grama-de-burro e 116 mg/L para a água oriunda do telhado com coroa-de-frade. De forma análoga, os valores mais elevados, para a água proveniente dos telhados vegetados, foram observados no dia 19 de abril, sendo 1198 mg/L para o telhado com grama-de-burro e 916 mg/L para o telhado com coroa-de-frade. A interferência do substrato é perceptível quando se compara os valores obtidos para os telhados vegetados e para o telhado convencional, Tabela 12, sendo que neste último o valor mínimo de sólidos dissolvidos totais foi 0 mg/L no dia 10 de março e o valor máximo foi de 86 mg/L no dia 10 de maio.

No que se refere à legislação citada, para os telhados vegetados, apenas as amostras coletadas no dia 29 de março encontram-se abaixo do valor máximo, de 200 mg/L, corresponde à classe 1 e todos os demais valores foram superiores ao limite estabelecido. Por outro lado, todas as amostras apresentaram valor abaixo do limite aceitável, de 2000 mg/L, segundo a publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), e exceto pela amostra da água proveniente do telhado com grama-de-burro coletada no dia 19 de abril, todas as demais amostras ficaram abaixo do valor máximo permitido para a água potável, de 1000 mg/L previsto no Anexo X da Portaria Nº 2.914/2011 do MS.

Os valores de sólidos dissolvidos totais obtidos para todas as amostras atendeu aos limites estabelecidos na NBR 13.969/1997, no Anexo X da Portaria Nº 2.914/2011 do MS, e na publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010).

4.4 Comparação com legislações vigentes e recomendações e proposições de uso

Na comparação das legislações e recomendações citadas nesta pesquisa foi considerado o arranjo apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Documentos utilizados para análise das proposições de uso.

Documento	Descrição	Aplicação
NBR 13.969/1997	Dispõe sobre o projeto, a construção e a operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos.	Tetos verdes
“Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010) da EMBRAPA	Recomenda os limites de alguns parâmetros de qualidade da água a ser destinada à irrigação.	
Portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914/2011	Dispões sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.	Teto convencional
NBR 15.527/2007	Dispõe sobre os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.	Tetos verdes e teto convencional

4.4.1 NBR 13.969/1997 - Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos.

A NBR 13.969/1997 dispõe sobre o projeto, a construção e a operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos. Dos parâmetros previstos nesta norma foram analisados no âmbito desta pesquisa: oxigênio dissolvido (OD), pH e temperatura. Os resultados obtidos e o atendimento à norma em questão estão apresentados na Tabela 13. Pela consideração apenas dos parâmetros analisados não há restrição para destinação da água proveniente dos telhados vegetados diretamente às galerias de águas pluviais. Para recomendação deste uso, entretanto, é preciso analisar os demais parâmetros previstos na Norma NBR 13.969/1997: cloro residual livre, coliformes fecais, DBO_{5,20}, DQO, óleos e graxas, sólidos não filtráveis totais e sólidos sedimentáveis.

Tabela 13 – Comparação com a NBR 13.969/1997.

Parâmetro	Unidade	Valor da Norma	Teto com grama-de-burro			Teto com coroa-de-frade		
			Min	Max	Atend	Min	Max	Atend
OD	mg/L	1*	2,0	9,6	Sim	2,1	8,6	Sim
pH	-	6 a 9,0	6,4	7,9	Sim	6,6	7,7	Sim
Temperatura	°C	40	21,2	28,8	Sim	20,7	29,8	Sim

* Valor mínimo | Min = mínimo | Max = máximo | Atend = atendimento à norma | OD = oxigênio dissolvido |

Por outro lado, a NBR 13.969/1997 também define as possibilidades de reuso local de esgoto, que são recomendadas conforme a classificação estabelecida considerando determinados limites, bem como o tratamento adequado em cada caso. Neste contexto, por apresentar características mais próximas às águas servidas, a água oriunda dos telhados verdes foi considerada com base nas classificações e respectivos valores de parâmetros para esgotos estabelecidos no item 5.6.4 (Grau de tratamento) da NBR 13.969/1997, que estão apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 – Tratamentos recomendados conforme classe de classificação da água, NBR 13.969/1997.

Classe	Destinação	Parâmetros	Tratamento recomendado
1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.	Turbidez < 5 uT Coliforme fecal < 200 NMP/100 mL SDT < 200 mg/L $6,0 \leq \text{pH} \leq 8,0$ $0,5 \text{ mg/L} \leq \text{cloro residual} \leq 1,5 \text{ mg/L}$	Tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido por filtração convencional (areia e carvão ativado) ou membrana filtrante e, cloração.
2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	Turbidez < 5 uT Coliforme fecal < 500 NMP/100 mL Cloro residual > 0,5 mg/L	Tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido de filtração de areia ou membrana filtrante, e desinfecção.
3	Reuso nas descargas dos vasos sanitários.	Turbidez < 10 uT Coliforme fecal < 500 NMP/100 mL	Tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção.
4	Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	Coliforme fecal < 5.000 NMP/100 mL Oxigênio dissolvido > 2,0 mg/L	As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

SDT = sólidos dissolvidos totais | LAB = lodo ativado por batelada.

Dos parâmetros previstos nesta classificação foram analisados no âmbito desta pesquisa: OD, pH, SDT e turbidez. Tendo o parâmetro oxigênio dissolvido atendido ao limite estabelecido para a Classe 4, Tabela 14, esta foi a classificação da água dos telhados verdes considerada nesta pesquisa. Ressaltando que para confirmação desta classificação adotada

faz-se necessário avaliar a concentração de coliformes fecais, que deve ser inferior a 5.000 NMP / 100 ml.

Tabela 14 - Comparação com os padrões de classificação da água da NBR 13.969/1997.

Parâmetro	Unid.	Classes				Teto com grama-de-burro			Teto com coroa-de-frade		
		1	2	3	4	Min	Max	Classe	Min	Max	Atend
OD	mg/L	-	-	-	2,0	2,0	9,6	4	2,1	8,6	4
pH	-	6,0 a 8,0	-	-	-	6,4	7,9		6,6	7,7	
SDT	mg/L	200,0	-	-	-	94,0	1.198,0		116,0	916,0	
Turbidez	uT	5	5	10	-	0,71	27,8		1,0	25,7	

| Min = mínimo | Max = máximo | OD = oxigênio dissolvido | SDT = sólidos dissolvidos totais

4.4.2 Documentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da Água de Irrigação”.

Visando analisar a possibilidade de destinar a água dos telhados vegetados para irrigação dos mesmos e, dessa forma possibilitar sua manutenção deles nos períodos de estiagens, alguns parâmetros foram considerados à luz da publicação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010). Neste contexto, dos parâmetros previstos nesta publicação foram analisados: amônia, cloretos, condutividade elétrica, fósforo – fosfato, nitrogênio – nitrato, pH e SDT. Os resultados obtidos e o atendimento aos valores recomendados na publicação da EMBRAPA estão apresentados na Tabela 15.

Com relação aos parâmetros analisados verificou-se que não atenderam, em ambos os tetos vegetados, aos limites recomendados pela publicação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010): amônia, fosfato e nitrato.

Tabela 15 - Comparação com a publicação sobre a “Qualidade da Água para Irrigação”.

Parâmetro	Unidade	Valor da Norma	Teto com grama-de-burro			Teto com coroa-de-frade		
			Min	Max	Atend	Min	Max	Atend
Amônia	mg/L	5,0	0,0	7,2	Não	0,0	9,3	Não
Cloreto	mg/L	1.063,8	5,7	32,9	Sim	5,3	11,6	Sim
CE	µS/cm	3.000,0	82,0	467,0	Sim	109,0	245,0	Sim
Fosfato	mg/L	2,0	7,1	18,3	Não	4,9	23,7	Não
Nitrato	mg/L	10,0	0,9	112,4	Não	0,0	80,1	Não
pH	-	6 a 8,5	6,4	7,9	Sim	6,6	7,7	Sim
SDT	mg/L	2.000,0	94,0	1.198,0	Sim	116,0	916,0	Sim

* Valor mínimo | Min = mínimo | Max = máximo | Atend = atendimento à norma | CE = condutividade elétrica | SDT = sólidos dissolvidos totais |

Para recomendação de uso da água na irrigação dos telhados vegetados, além da redução nos parâmetros listados que não atendem às recomendações da referida publicação, é

preciso analisar os seguintes parâmetros: bicarbonatos, boro, cálcio, carbonatos, magnésio, potássio, sódio e sulfato.

4.4.3 Portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914/2011 - Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Com o objetivo de analisar a possibilidade de uso da água proveniente do telhado convencional para consumo humano foram comparados os resultados das análises com o padrão de potabilidade definido na Portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914/2011. Neste contexto, foram analisados os seguintes parâmetros: amônia, cloreto, cor aparente, dureza total, ferro, nitrogênio - nitrato, nitrogênio – nitrito, sólidos dissolvidos totais e turbidez.

No que se refere ao atendimento à Portaria Nº 2.914/2011, Tabela 16, verificou-se que não atenderam, aos limites recomendados: amônia, cor aparente, nitrato e turbidez.

Tabela 16 - Comparação com a NBR 2.914/2011.

Parâmetro	Unidade	Valor da Norma	Teto controle		
			Min	Max	Atend
Amônia	mg/L	1,5	0,0	2,84	Não
Cloreto	mg/L	250,0	2,1	10,7	Sim
Cor aparente	uH	15,0	1,0	30,0	Não
Dureza total	mg/L	500,0	11,9	73,3	Sim
Ferro	mg/L	0,3	0,0	0,1	Sim
Nitrato	mg/L	10,0	0,0	17,3	Não
Nitrito	mg/L	1,0	0,1	0,3	Sim
SDT	mg/L	1.000,0	0,0	86,0	Sim
Turbidez	uT	5,0	0,5	13,7	Não

* Valor mínimo | Min = mínimo | Max = máximo | Atend = atendimento à norma |
SDT = sólidos dissolvidos totais |

Para recomendação de uso da água proveniente do telhado convencional para consumo humano, além do tratamento para remoção de cor, turbidez e compostos nitrogenados, é preciso analisar os seguintes parâmetros: alumínio, diclorobenzeno, etilbenzeno, gosto e odor, manganês, monoclorobenzeno, sódio, sulfato, sulfeto de hidrogênio, surfactantes, tolueno, zinco e xilenos.

4.4.4 NBR 15.527/2007 – Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos.

Para análise do aproveitamento da água de chuva captada de cada uma das superfícies estudadas, foi considerada a NBR 15.527/2007 que dispõe sobre os requisitos de

aproveitamento da água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, tendo sido analisados os seguintes parâmetros: cor aparente, pH e turbidez.

No que se refere ao atendimento à NBR 15.527/2007, Tabela 17, verificou-se que não atenderam, aos limites recomendados tanto para os tetos vegetados quanto para o teto convencional: cor aparente e turbidez. Além disso, o menor valor de pH observado para o teto convencional esteve abaixo do limite inferior estabelecido na referida norma.

Para recomendação de uso da água para fins não potáveis em que as águas de chuva podem ser utilizadas após tratamento de remoção de cor e sólidos como, por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais, além da adequação dos parâmetros listados que não atendem às recomendações da referida norma, é preciso analisar os seguintes parâmetros: cloro residual livre, coliformes termotolerantes e totais.

Tabela 17 – Comparação com a NBR 15.527/2007.

Parâmetro	Unid.	Valor da Norma	Teto com grama-de-burro			Teto com coroa-de-frade			Teto controle		
			Min	Max	Atend	Min	Max	Atend	Min	Max	Atend
Cor aparente	uH	15,0	72,0	750,0	Não	142,0	1.208,0	Não	1,0	30,0	Não
pH	-	6,0 a 8,0	6,4	7,9	Sim	6,6	7,7	Sim	5,3	7,2	Não
Turbidez	uT	5,0	0,7	27,8	Não	1,0	25,7	Não	0,5	13,7	Não

Unid. = unidade | Min = mínimo | Max = máximo | Atend = atendimento à norma |

4.5 Proposição de reuso

4.5.1 Água proveniente dos telhados verdes.

Pelo atendimento dos parâmetros analisados da Tabela 5 da NBR 13.969/1997, como não há restrição à destinação da água proveniente dos telhados vegetados diretamente à galeria de águas pluviais, ressaltando a necessidade de análise dos demais parâmetros previstos na Tabela informada, esta possibilidade pode ser adotada. No que se refere à possibilidade de reuso local, por apresentar características mais próximas às águas servidas, foram consideradas as classificações e respectivos valores de parâmetros para esgotos estabelecidos no item 5.6.4 (Grau de tratamento) da NBR 13.969/1997, que estão apresentados no Quadro 6. Tendo o parâmetro oxigênio dissolvido atendido ao limite estabelecido para a Classe 4, no qual é recomendado o reuso da água em pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual, sugere-se o uso da água proveniente dos telhados verdes na

irrigação do próprio telhado, desde que seja avaliado a concentração de coliformes fecais e constatado valores inferiores a 5.000 NMP/100 ml. Adicionalmente, como parte das recomendações apresentadas na publicação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), sugere-se a realização de tratamento para redução nas concentrações de amônia, fosfato e nitrato, bem como a análise dos outros parâmetros previstos nesta publicação que não foram analisados no âmbito desta pesquisa.

Os dados obtidos indicam ainda que a água oriunda dos telhados vegetados podem ser destinados para fins não potáveis e, após tratamento de remoção de cor e sólidos, poderão, inclusive ser utilizados em descargas de bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais, conforme previsto na NBR 15.527/2007, ressaltando, neste contexto, a necessidade de se analisar outros parâmetros previstos na Norma e não avaliados nesta pesquisa.

4.5.2 Água proveniente do telhado convencional

Com base no estabelecido na Portaria do MS Nº 2.914/2011, recomenda-se o uso da água proveniente do telhado convencional para consumo humano, apenas depois do descarte das primeiras águas de chuva que lavam as impurezas das superfícies de captação e dos dutos de transporte da água, e da realização de tratamento para remoção de cor, turbidez e compostos nitrogenados, desde que os demais parâmetros previstos nesta Portaria sejam analisados e estejam dentro dos limites estabelecidos na mesma.

De forma análoga ao que foi recomendado para a água proveniente dos telhados verdes, recomenda-se o uso para fins não potáveis após tratamento de remoção de cor e sólidos, podendo também ser utilizados em descargas de bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais, conforme previsto na NBR 15.527/2007, ressaltando, neste contexto, uma possível necessidade de ajuste no valor do pH e a verificação dos outros parâmetros previstos na Norma e não avaliados nesta pesquisa.

4.6 Considerações finais

Considerando-se a precipitação média anual para a região Agreste, o armazenamento e o aproveitamento da água de chuva captada por telhados constituem uma alternativa

importante para suprir o *déficit* de abastecimento de água através do sistema público, fato recorrente na região.

Em relação à capacidade de retenção da água de chuva pelos telhados, os telhados verdes apresentaram maior eficiência quando comparados ao telhado controle.

Considerando os aspectos qualitativos, de acordo com os resultados das análises realizadas, as águas provenientes dos telhados verdes não podem ser tratadas como água de chuva, uma vez que sua passagem pelo substrato provoca alterações significativas na qualidade da água, devido principalmente à matéria orgânica presente no substrato. Portanto, o reuso destas águas deve prever um tratamento, ainda que simplificado, para adequação dos parâmetros de saída aos parâmetros de qualidade da água para reuso. A água captada pelo telhado controle de telhas cerâmicas, além de apresentar melhor qualidade em relação aos telhados verdes, possibilita também uma maior acumulação de água, se considerarmos a necessidade de aproveitamento de água de chuva da região. Portanto, o telhado com telhas cerâmicas seria o mais indicado para situações em que o aproveitamento da água seja necessário para suprir o *déficit* do abastecimento público.

Entretanto, embora não tenha sido objeto desta pesquisa, os telhados verdes, além da capacidade de retenção da água de chuva e retardo do início do escoamento superficial nas áreas urbanas, contribuem para o conforto térmico no interior das habitações, conforme citado na revisão de literatura apresentada no Capítulo 2.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

As conclusões referentes aos resultados obtidos nesta pesquisa estão agrupados de forma a atender os objetivos propostos inicialmente.

- i) Identificar o potencial de economia de água proveniente do sistema de abastecimento público devido à utilização de água de chuva captada pelos telhados no Agreste pernambucano;

Os resultados apresentados nesta pesquisa sobre o potencial de economia da água fornecida pelo sistema de abastecimento público estadual para os municípios do Agreste pernambucano sinalizam importantes perspectivas de economia dos recursos hídricos e, conseqüentemente, de toda a estrutura destinada à sua captação, tratamento e distribuição, com o aproveitamento da água de chuva em áreas residenciais.

Os estudos realizados sobre os 71 municípios do Agreste Pernambucano indicaram que os percentuais de economia da água fornecida pelo sistema de abastecimento público estadual podem chegar a 25% ou mais, ou podem trazer um aporte importante de água nos locais onde existe racionamento, constituindo valores significativos, sinalizando a possibilidade de redução de pressão sobre a o sistema público de abastecimento.

- ii) Comparar o desempenho do telhado verde, em relação à capacidade de retenção de águas de chuva, de acordo com a vegetação utilizada no município de Caruaru, Pernambuco;

Dentro do contexto de cidades sustentáveis, as habitações ecológicas se constituem em uma alternativa viável, especialmente no que tange à utilização de telhados verdes. Este tipo de estrutura traz diversos benefícios, principalmente no contexto das áreas urbanas, contribuindo para a redução de enchentes, fato observado nesta pesquisa, onde foram encontrados valores de retenção de águas de chuva pelos telhados verdes de mais de 70%, para as intensidades de precipitação experimentadas pelos telhados verdes estudados, em relação ao volume precipitado. Esta capacidade de retenção pelos telhados verdes pode ser potencializada, visto que o substrato utilizado é composto de 80% de areia, material que favorece a infiltração. A substituição do substrato por outro com condutividade hidráulica menor pode resultar em uma retenção maior da água de chuva.

- iii) Comparar o desempenho do telhado verde em relação ao telhado controle (com telhas cerâmicas), no que se refere à qualidade da água de chuva captada e armazenada, de acordo com a vegetação utilizada, no município de Caruaru, Pernambuco;

Em relação à qualidade da água, as principais alterações observadas estão relacionadas à cor e à turbidez, parâmetros que causam rejeição por parte do usuário da água. Outros parâmetros que sofreram alterações significantes foram nitrato e fosfato, devido principalmente à presença do substrato e de matéria orgânica, cuja origem é, principalmente, a decomposição da vegetação dos telhados verdes. O telhado controle, cuja cobertura é de telhas cerâmicas, embora apresente parâmetros de saída de qualidade da água menos alterados do que os telhados verdes, não tem significado em termos de retenção.

O telhado verde com vegetação coroa-de-frade, apesar de apresentar maior eficiência em relação à capacidade de retenção da água, é o que apresenta parâmetros de saída mais alterados em termos qualitativos. Tal fato se deve à morfologia do cacto, que apresenta pouco recobrimento da camada de solo, e que tem uma raiz central para fixar a planta ao solo e raízes superficiais que se encontram bem rente à terra mas não seguram o solo, possibilitando o arraste de partículas do mesmo.

- iv) Discutir, para a água de chuva captada pelos telhados verdes, os parâmetros de qualidade da água em relação à NBR 13.969/1997 (Projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos);

De acordo com os padrões analisados da Tabela 5 da NBR 13.969/1997, não há restrição à destinação da água proveniente dos telhados vegetados diretamente à galeria de águas pluviais, ressaltando-se a necessidade de análise de outros parâmetros. No que se refere à possibilidade de reuso local, por apresentar características mais próximas às águas servidas, com base na NBR 13.969/1997, classificou-se a água oriunda dos telhados verdes, em ambos os casos, como de Classe 4, e recomenda-se portanto seu reuso em pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual, sendo necessário ainda a avaliação da concentração de coliformes fecais para constatação de valores inferiores a 5.000 NMP/100 ml.

- v) Discutir, para a água de chuva captada pelos telhados verdes, os parâmetros de qualidade da água, com base na documentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da Água de Irrigação”;

Como parte das recomendações apresentadas na publicação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), sugere-se a realização de tratamento para redução nas concentrações de amônia, fosfato e nitrato, bem como a análise dos outros parâmetros previstos nesta publicação que não foram analisados no âmbito desta pesquisa.

- vi) Discutir, para a água de chuva captada pelo telhado controle, os parâmetros de qualidade da água em relação à Portaria MS Nº 2.914/2011 (Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade);

Recomenda-se o uso da água proveniente do telhado convencional para consumo humano, apenas depois do descarte das primeiras águas de chuva e da realização de tratamento para remoção de cor, turbidez e compostos nitrogenados, desde que os demais parâmetros previstos nesta Portaria sejam analisados e estejam dentro dos limites estabelecidos na mesma. Sendo que, apesar de vários parâmetros estarem dentro da faixa aceitável pela legislação de referência, aspectos microbiológicos da água, que não foram determinados durante essa pesquisa, restringem seu uso enquanto água potável.

- vii) Discutir, para a água de chuva captada de cada uma das superfícies estudadas, os possíveis usos, com base na NBR 15.527/2007 (Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos).

Recomenda-se o uso da água proveniente dos telhados, vegetados e convencional, para fins não potáveis e, após tratamento de remoção de cor e sólidos, poderão, inclusive ser utilizados em descargas de bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais, conforme previsto na NBR 15.527/2007, ressaltando, neste contexto, a necessidade de se analisar outros parâmetros previstos na Norma e não avaliados nesta pesquisa. E, no caso do telhado convencional, ainda há uma possível necessidade de ajuste no valor do pH.

5.2 Recomendações

Para pesquisas futuras, recomenda-se que continue sendo feito o monitoramento da qualidade da água e da capacidade de retenção pelas estruturas com vegetação. Sugere-se que seja feito o monitoramento de cada evento de chuva isoladamente, juntamente com a determinação da umidade do solo nos momentos antecedentes à precipitação e a intensidade

da mesma, de forma a determinar com maior precisão qual a influência do substrato e da vegetação utilizada na capacidade de retenção da água de chuva.

Recomenda-se também que sejam investigados outros parâmetros de qualidade da água, principalmente os microbiológicos, para determinação de possíveis usos da água escoada dos telhados estudados.

Outro fato a ser considerado quando se trata de telhados verdes é o ganho de conforto térmico no interior das habitações.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15.527: Água da Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. *NBR 13.969. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro, 1997.

ALABURDA, J.; NISHIRA, L. *Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços*. Revista Saúde Pública, v. 32 (2), p. 160-5, 1998.

ALMEIDA, O. A. *Qualidade da água de irrigação*. Dados eletrônicos, Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010, 228 p.

ALMEIDA, H. A.; LIMA, A. S. *O potencial para a captação de água de chuvas em tanque de pedra*. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, VI, 2007, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2007.

ANA – Agência Nacional de Águas. *Hidroweb*. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acesso em 22 abr 2011.

_____. *Water Resources Management in Brazil*. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb/doc/WRMB/index.htm>> Acesso em 18 maio 2011.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, E.; BASTOS, E.; MELO, F.; LEAL, C. *Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido piauiense*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 873 – 880, 2006.

ANDRADE NETO, C. O. *Segurança Sanitária das Águas de Cisternas Rurais*. In: Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva. 4º. 2003, Juazeiro. Anais... Juazeiro, BA: ABCMAC, 2003.

ANNECCHINI, K. P. V. *Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)*. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2005.

ANTAS, F. P. S. *Avaliação da Composição Iônica e Aplicação de um Índice de Qualidade para Água de Irrigação no Rio Açu, RN*. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semiárido. Rio Grande do Norte, 2011.

APHA – American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20ª Ed. 1999.

ARAÚJO, S. R. *As Funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos*. 2007. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2007.

ARAÚJO, T. F. *Desempenho térmico dos telhados verdes em residências de pequeno porte e considerações sobre o reuso da água*. 2010. 51f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, PE: 2010.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29, 2. ed, Campina Grande, UFPB, 1999. 145p.

BAILEY, D., BILDERBACK, T. *Alkalinity Control for Irrigation Water Used in Nurseries and Greenhouses*. Horticulture Information Leaflet 558, Revised 8/97, North Carolina State University College of Agriculture & Life Sciences, 5 p. 1997.

BAILEY, D.A.; NELSON, P.V.; FONTENO W.C. *Substrates pH and water quality*. Raleigh: North Carolina State University, 2000. Disponível em: <<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/plugs/ph.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2000.

BENGTSSON, L.; GRAHN, L.; OLSSON, J. *Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden*. Nordic Hydrology, v. 36, p. 259 – 268, 2005. ISSN: 0029-1277

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de irrigação*. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 611p.

BERNDTSSON, J. C.; EMILSSON, T.; BENGTSSON, L. *The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality*. Science of the Total Environment, v. 355, p. 48– 63, 2006.

BERNDTSSON, J. C. *Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review*. Ecological Engineering v. 36, p. 351-360, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html> Acesso em 10 mar 2012.

BRITTO, C. C. *Análisis de La viabilidad y comportamiento energético de la cubierta plana ecológica*. 2001. Tese (Doutorado em Construção e Tecnologias Arquitetônicas) – Universidade Politécnica de Madrid. Espanha, 2001.

CARVALHO, J. *Telhado vivo*. Brasília, DF: Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UnB, 2007.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem*. São Paulo, SP: CETESB, 2009.

CONDEPE/FIDEM - Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. *Perfil Municipal*. Disponível em <http://www.condepefidem.pe.gov.br>. Acesso em 28 mar 2011.

____. *Rio Ipojuca*. Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco, v. 1. Recife: 2005. 64p.

CORREA, C.B.; GONZALEZ, F.J.N. *O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas*. In: núcleo de pesquisa em tecnologia de arquitetura e urbanismo – NUTAU. Anais... São Paulo: Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, 2002.

COSTA FILHO, W.D. *Estudo Hidroquímico nos Aqüíferos da Planície do Recife*. 1997. 205f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 1997.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Caruaru, estado de Pernambuco*. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 11 p. + anexos

DUNNETT, N., KINGSBURY, N.; *Planting Green Roofs and Living Walls*. Timber Press, Inc., Portland, OR., 2004.

EGREJA FILHO, F. B.; MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C. *Método computacional para correção da qualidade de águas para fertirrigação*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Brasília, v.23, n.2, p. 415-423. 1999.

FARIA, D. C.; ANDRADE, T. S.; OLIVEIRA, A. A.; NAVAL, L. P. *Eficiência na remoção de nutrientes empregando-se sistemas anaeróbios e facultativos*. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste. I. 2007. Cuiabá, MT. Anais... Cuiabá: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2007.

FARIAS, M. M. M. W. E. C.; SANTOS, S. M.; CABRAL, J. J. S. P. *Considerações sobre o aproveitamento de águas pluviais em municípios do semiárido pernambucano*. In: World Water Congress, XIV, 2011, Porto de Galinhas, PE. Anais... Pernambuco: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2011. 1 CD ROM. 11p.

FRASIER, G. W. *Proceedings of water harvesting symposium*. Berkeley: USDA (United States Agricultural Research Service), 1975.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. *Manual prático de análise de água*. 3ª ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2009, 144 p.

GARCEZ, L. N. *Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial*. São Paulo, SP: EPUSP, 2004.

GETTER, K.L., ROWE, D.B. *The role of green roofs in sustainable development*. HortScience, v. 41, p. 1276-1285, 2006.

GHISI, E. *Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil*. Building and Environment, v. 41, p. 1544–1550, 2006.

GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R. W. *Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil*. Building and Environment, v. 41, p. 204–210, 2006.

GNADLINGER, J. *Apresentação Técnica de Diferentes tipos de Cisternas Construídas em Comunidades Rurais no Semi-árido Brasileiro*. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, I, 1997, Campina Grande, PB. Anais... Campina Grande, PB: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 1997.

GNADLINGER, J. *Colheita de água de chuva em áreas rurais*. Livro eletrônico, 2004. Disponível em: <<http://www.abcmac.org.br>>. Acesso em: 14 Julho de 2008.

GONÇALVES, P. P. *Avaliação do uso de sistemas ecológicos em Fortaleza: um estudo de caso sobre as práticas atuais e visão dos empreendedores para as construções do futuro*. 2009. 69f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE: 2009.

GREGOIRE, B. G.; CLAUSEN, J. C. *Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality*. Ecological Engineering, v. 37, p. 963 – 969, 2011.

HANDRECK, K.; BLACK, N. *Growing media for ornamental plants and turf*. Sydney: University of New South Wales Press, 1999. 448 p.

HATHAWAY, A.M.; HUNT, W. F.; JENNINGS, G. D. *A field study of green roof hydrologic and water quality performance*. Transactions of the ASABE, v. 51, p. 37- 44, 2008. American Society of Agricultural and Biological Engineers, ISSN 0001-2351

HOFKES, E. H. *Rainwater harvesting for drinking water supply and sanitation*. Londres: International Reference Center for Communing Water Supply, 1981.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sinopse do Censo Demográfico 2010: Censo Demográfico 2010, 2010a*. Disponível em <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=4&uf=00>> Acesso em: 28 abr 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades: IBGE, 2010b*. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br> > Acesso em: 8 fevereiro 2010.

ISLA SEMENTES. *Gramado verde o ano inteiro*. In: Informativo da ISLA Sementes, n. 40, set 2006. Disponível em < <http://www.hortalica.com.br>> Acesso em 26 jan 2011.

JALFIM, F. T. *Cisterna de placas “calçada”: Uma alternativa para captação e armazenamento da água de chuva de escoamento no nível do solo*. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, IV, 2003, Petrolina. Anais... Petrolina: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2003.

JOHNSTON, J.; NEWTON, J. *Building green: a guide for using plants on roofs, walls and pavements*. London: The London Ecology Unit, 1996.

KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; GRIMME, F. W.; LAAR, M.; PAIVA, V. L.A.; TAVARES, S. *Green roofs in temperate climates and in the Hot-Humid tropics- far beyond the aesthetics*. Environmental Management and Health, v. 13, n. 4, 2002

KOSAREO, L.; RIES, R. *Comparative environmental life cycle assessment of green roofs*. Building and Environment, v. 42, p. 2606–2613, 2007.

LESSA, R. N. T. *Ciclo do nitrogênio*. Pelotas, RS: UFPel, 2007.

MACHADO, F. O.; CORDEIRO, J. S.. *Aproveitamento das Águas Pluviais: Uma Proposta Sustentável*. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 7º, 2004, São Luis, MA. Anais... São Luis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2004.

MacMILLAN, M. *York university rooftop garden stormwater quantity and quality performance monitoring report, 2004*. Disponível em: <http://www.epa.gov/region8/greenroof/documents/3.4_Macmillan-monitoring.pdf> Acesso em 11 jun. 2011.

MAIA, C.E., RODRIGUES, K.K.R.P. *Relação entre Bicarbonato e Cloreto em Águas para Fins de Irrigação*. In: INOVAGRI International Meeting & IV WINOTEC Workshop

Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação, Fortaleza – CE, 28 a 31 de maio de 2012, em meio digital, 4 p.

MAY, S. *Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações*. 2008. 222f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. *Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?* Landscape Urban Planning, v. 77, p. 217–226, 2006.

MORAIS, C. S. de. *Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos-SP*. 2004. 106f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2004.

OBERNDORFER, E., LUNDHOLM, J., BASS, B., CONNELLY, M., COFFMAN, R., DOSHI, H., DUNNETT, N., GAFFIN, S., KÖHLER, M., LUI, K., ROWE, B. *Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services*. BioScience, v. 57, n. 10, p. 823-833, 2007.

PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. G. *Hydrologic Restoration in the Urban Environment Using Green Roofs*. Water, v. 2, p. 140-154, 2010. ISSN 2073-4441

PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. *Investigation of Green Roof Thermal Performance in Temperate Climate: a case study of an experimental building in Florianópolis City, Southern Brazil*. Energy and Buildings, v. 43, p. 712 – 722, 2011.

PATRO, R. *Coroa-de-frade - Melocactus zehntneri*. Disponível em < <http://www.jardineiro.net/>> Acesso em 26 jan 2011.

PAZ, A. R. *Hidrologia Básica*. Apostila da Disciplina Hidrologia Aplicada, Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Caxias do Sul, RS: UERGS, 2004.

PECK, S.W.; CALLAGHAN, C.; KUHN, M.E.; BASS, B. *Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada*. Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Canada: 1999.

PELLEGRINI, J. B. R. *Fósforo na Água e no Sedimento na Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino - Agudo – RS*. 2005. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

PEREIRA JÚNIOR, J. S. *Nova delimitação do semi-árido brasileiro*. Brasília, DF: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, Centro de Documentação e Informação, 2007. Disponível em <<http://bd.camara.gov.br>>

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Capibaribe*. Recife, PE: 2002.

PERSCH, C. G.; TASSI, R.; ALLASIA, D. G. *Análise da eficiência de um telhado verde como alternativa para o controle quali-quantitativo das águas pluviais em Santa Maria-RS*. In: World Water Congress, XIV. Porto de Galinhas, PE. Anais... Porto de Galinhas, PE: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2011. 1 CD ROM.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. *Qualidade da água e poluição: aspectos físico-químicos*. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, 2005. 285 p.

ROWE, D. B.; GETTER, K. L. *Green roofs and roof gardens*. In: J. Aitkenhead-Peterson and A. Volder (Ed.). *Urban Ecosystems Ecology*. Madison, WI: Crop Science Society of America, 2010. p. 391-412

SANTOS, P.T.S. *Balanço Hídrico em Teto com Cobertura Vegetal no Semiárido Pernambucano*. 2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, 2011.

SANTOS, S. M.; MARINHO, E. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, C. M. M.; ARAÚJO, T. F.; BARROS, E. S. *Estudo da qualidade da água de um telhado verde no agreste pernambucano*. In: World Water Congress, XIV. Porto de Galinhas, PE. Anais... Porto de Galinhas, PE: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2011. 1 CD ROM.

SANTOS, S. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ARAÚJO FILHO, P. F.; CABRAL, J. J. S. P.; ARAÚJO, T. F. *Determinação da utilidade do uso de telhado verde no Agreste Pernambucano*. In: V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Recife, 28 a 30 de outubro de 2009. 10p., em meio digital.

SARA – Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária de Pernambuco (2011). *Dados pluviométricos*. Disponível em <www.agricultura.pe.gov.br> Acesso em 10 nov 2011.

SCHISTEK, H. *Caldeirão, caxio e cacimba: Três sistemas tradicionais de captação de água no nordeste brasileiro*. In: Internacional Raiwater Catchment Systems, IX, 1999, Petrolina, Proceedings... Petrolina, 1999.

SDR/MI - Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional / Ministério da Integração Nacional. *Relatório Final do Grupo de Trabalho Interministerial para Redelimitação do Semiárido Nordeste e do Polígono das Secas*. Brasília – DF: 2005.

SEDEC - Secretaria Nacional de Defesa Civil. *Desastres notificados à SEDEC\MI*. Disponível em < <http://www.defesacivil.gov.br/desastres/desastres/2010/estados/pe.asp>> Acesso em 21 fev 2011.

SILVA, J. C.; SILVA, N. A. S.; SICSÚ, A. B. *Análise do Pólo Têxtil Pernambucano sob a Ótica Mesoregional*. In: Encontro Capixaba de Engenharia de Produção, 2008, 14p.

SILVA, L. P. *Transformações recentes na agropecuária nordestina - a situação do agreste de Pernambuco*. In: Encontro Nacional de Geografia Agrária, XIX, 2009, São Paulo. Anais... São Paulo: 2009. pp. 1-26.

SILVEIRA, A. L. L. *Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica*. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4ª ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. Cap. 2, p. 35-51.

SIMMONS, M. T.; GARDINER, B.; WINDHAGER, S.; TINSLEY, J. *Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate*. Urban Ecosyst, v. 11, p. 339-348, 2008. DOI 10.1007/s11252-008-0069-4

SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2008*. Brasília: MCIDADES. SNSA, 2010. Disponível em <<http://www.snis.gov.br/>> Acesso em 2 mai 2011.

SOUZA, S.H.B. *Avaliação da Eficácia de Barreiras Sanitárias em Sistemas para Aproveitamento de Águas de Chuva no Semiárido Pernambucano*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2009.

SUASSUNA, J. *O processo de salinização das águas superficiais e subterrâneas no semiárido do Nordeste*. 1996. Disponível em <<http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/orig2.html>> Acesso em 14 mar 2011.

TEEMUSK, A.; MANDER, Ü. *Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events*. Ecological Engineering. Oxford, v. 30, n. 3, p. 271-277, 2007.

TOMAZ, P. *Aproveitamento de Água de Chuva para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis*. São Paulo: Ed. Navegar, 2003, 180p.

TRANI P. E. *Calagem e adubação para hortaliças sob cultivo protegido*. Projeto estadual hortaliçamento, 2004, p.28.

VAN WOERT, N.D.; ROWE, D.B.; ANDRESEN, J.A.; RUGH, C.L.; FERNANDEZ, R.T.; XIAO, L.. *Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope and Media Depth*. Journal of Environmental Quality, v. 34, p. 1036-1044, 2005.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

WALLER, P.L.; WILSON, G.C.S. *Evaluation of growing media for consumer use*. Acta Horticulturae, Wageningen, n. 150, p. 51-58, 1984.

WEINER, L. *Rain water cisterns in Israel's Negev desert: Past and present development*. In: Internacional Rainwater Catchment Systems, III, 1987, Tailândia. Proceedings... Tailândia, 1987.

WHO – World Health Organization. *Guidelines for drinking-water quality: incorporating 1st and 2nd addenda*. Vol.1, Recommendations. 3 ed. Geneva: Who Press, 2008. ISBN 978 92 4 154761 1.

WONG, N.H.; CHEN, Y.; ONG, C.L.; SIA, A. *Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment*. Building and Environment, v. 38, p. 261–270, 2003.

ZANETTI, R. *Análise fitossociológica e alternativas de manejo sustentável da mata da agronomia, Viçosa, Minas Gerais*. Trabalho integrante do conteúdo programático da disciplina Manejo sustentado de Florestas Naturais. Viçosa, MG: UFV, 1994. 92p.

ZUIN, V. G.; IORIATTI, M. C.; MATHEUS, C. E. *O Emprego de Parâmetros Físicos e Químicos para a Avaliação da Qualidade de Águas Naturais*. Química Nova na Escola, v. 31 n. 1, 2009.

ANEXO I – RESULTADOS DE POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL
PARA OS 71 MUNICÍPIOS ESTUDADOS

ANEXO I (parte 1/4)

Cidade	Área média do telhado / habitação (m²)	Número de domicílios abastecidos com água do sistema público de abastecimento	Área total de telhados (m²)	Volume precipitado (m³/ano)	Demanda de água do sistema público de abastecimento (m³/ano)	Volume captado das chuvas em relação ao volume ofertado pela Compesa (%)
Agrestina	81,2	5576	452866,6	183032,4	428129,8	42,8
Águas Belas	81,3	5415	440042,5	227400,0	423085,0	53,7
Alagoinha	81,2	1824	148191,3	69089,8	118299,5	58,4
Altinho	81,1	4588	372237,4	150444,9	327012,2	46,0
Angelim	81,3	1541	125235,6	58387,4	117438,0	49,7
Barra de Guabiraba	81,4	3148	256378,6	103619,0	287730,3	36,0
Belo Jardim	81,3	21637	1758007,3	819618,2	1721932,8	47,6
Bezerros	81,2	13799	1120313,0	452790,2	1004647,0	45,1
Bom Conselho	81,3	7128	579801,3	299622,9	593316,7	50,5
Bom Jardim	81,3	6375	518019,6	365135,5	449007,2	81,3
Bonito	81,3	8501	690960,9	279261,5	769220,2	36,3
Brejão	81,3	903	73428,4	37945,5	62601,0	60,6
Brejo da Madre de Deus	81,2	5968	484715,5	304493,8	446042,5	68,3
Buíque	81,4	3387	275748,1	142497,8	284264,1	50,1
Cachoeirinha	81,2	4554	369837,2	149474,9	315276,9	47,4
Caetés	81,4	1613	131228,6	61181,4	141162,6	43,3
Calçado	81,3	1115	90642,9	42259,5	91255,1	46,3
Camocim de São Félix	81,2	3362	273158,2	110400,7	313300,2	35,2
Canhotinho	81,3	3703	301085,5	121687,9	324054,5	37,6
Capoeiras	81,4	1692	137658,0	64178,9	152099,9	42,2
Caruaru	81,3	95688	7774926,0	3142345,2	10110443,8	31,1

ANEXO I (parte 2/4)

Cidade	Área média do telhado / habitação (m²)	Número de domicílios abastecidos com água do sistema público de abastecimento	Área total de telhados (m²)	Volume precipitado (m³/ano)	Demanda de água do sistema público de abastecimento (m³/ano)	Volume captado das chuvas em relação ao volume ofertado pela Compesa (%)
Casinhas	81,3	408	33185,0	16089,2	38002,8	42,3
Correntes	81,4	2757	224481,6	104657,8	259176,7	40,4
Cumaru	81,2	1894	153851,7	86098,5	214712,4	40,1
Cupira	81,3	6988	567892,4	229521,7	583888,6	39,3
Feira Nova	81,3	4092	332792,5	287993,3	357178,7	80,6
Frei Miguelinho	81,2	515	41806,3	20031,2	43066,6	46,5
Garanhuns	81,3	34250	2785145,9	1298490,7	3030761,9	42,8
Gravatá	81,1	25770	2090311,4	1169780,0	2124984,2	55,0
Iati	81,4	2929	238287,6	123139,5	479833,0	25,7
Ibirajuba	81,2	1038	84249,5	34050,6	72191,0	47,2
Itaíba	81,3	4164	338566,6	0,0	358020,8	0,0
Jataúba	81,2	982	79698,1	26000,7	46198,7	56,3
João Alfredo	81,2	5328	432851,9	305103,5	476030,5	64,1
Jucati	81,3	1220	99218,8	46257,8	86052,9	53,8
Jupi	81,3	963	78287,9	36499,4	86812,7	42,0
Jurema	81,2	3034	246488,0	99621,6	246699,6	40,4
Lagoa do Ouro	81,3	1668	135614,8	70081,4	156494,8	44,8
Lagoa dos Gatos	81,2	2481	201375,3	81388,7	193149,9	42,1
Lajedo	81,3	9966	809800,2	377545,0	826929,6	45,7
Limoeiro	81,3	10956	891062,3	771111,1	769645,2	100,2
Machados	81,5	2188	178271,0	0,0	210656,7	0,0
Orobó	81,3	1726	140346,4	68044,4	127632,3	53,3

ANEXO I (parte 3/4)

Cidade	Área média do telhado / habitação (m²)	Número de domicílios abastecidos com água do sistema público de abastecimento	Área total de telhados (m²)	Volume precipitado (m³/ano)	Demanda de água do sistema público de abastecimento (m³/ano)	Volume captado das chuvas em relação ao volume ofertado pela Compesa (%)
Palmeirina	81,3	1397	113513,0	52922,0	121083,2	43,7
Panelas	81,2	4037	327996,7	132564,5	310007,7	42,8
Paranatama	81,3	429	34885,0	18027,5	39950,3	45,1
Passira	81,2	4321	351039,8	247436,7	301660,7	82,0
Pedra	81,3	2527	205370,1	122532,0	199774,0	61,3
Pesqueira	81,3	11967	972560,6	453427,2	910659,4	49,8
Poção	81,2	1737	141044,3	84152,7	58638,0	143,5
Riacho das Almas	81,1	2824	229111,1	128215,1	177340,7	72,3
Sairé	81,1	1694	137452,9	55553,5	126852,7	43,8
Salgadinho	81,5	953	77708,5	54774,3	106340,7	51,5
Saloá	81,3	1428	116092,5	59992,9	120439,2	49,8
Sanharó	81,4	5154	419432,3	195547,7	513146,2	38,1
Santa Cruz do Capibaribe	81,3	22008	1789688,7	646084,8	2002923,2	32,3
Santa Maria do Cambucá	81,2	864	70193,7	33632,9	77452,3	43,4
São Bento do Una	81,4	7671	624307,6	291064,7	696383,4	41,8
São Caetano	81,2	6378	518160,6	209421,9	473761,3	44,2
São João	81,3	3070	249697,0	116413,7	281821,5	41,3
São Joaquim do Monte	81,2	4198	340920,2	137787,7	359802,9	38,3
São Vicente Férrer	81,4	1905	154993,4	0,0	182165,6	0,0
Surubim	81,3	14497	1178402,6	571327,3	1103139,0	51,8
Tacaimbó	81,2	2289	185855,3	116752,6	169607,3	68,8
Taquaritinga do Norte	81,2	1033	83875,4	71317,5	74941,4	95,2

ANEXO I (parte 4/4)

Cidade	Área média do telhado / habitação (m²)	Número de domicílios abastecidos com água do sistema público de abastecimento	Área total de telhados (m²)	Volume precipitado (m³/ano)	Demanda de água do sistema público de abastecimento (m³/ano)	Volume captado das chuvas em relação ao volume ofertado pela Compesa (%)
Terezinha	81,3	922	74998,8	38757,0	81607,0	47,5
Toritama	81,4	8974	730194,0	620869,3	883178,7	70,3
Tupanatinga	81,4	2449	199400,2	0,0	219935,7	0,0
Venturosa	81,3	2268	184471,2	86004,2	186280,7	46,2
Vertente do Lério	81,2	207	16816,3	8153,1	3970,0	205,4
Vertentes	81,2	3636	295396,9	141537,7	358076,0	39,5