



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JHONATA FERNANDES FERREIRA SILVA

POTENCIAL DE RESERVA DE ÁGUA DE CHUVA NO
MUNICÍPIO DE CARUARU-PE

Caruaru, 2016.

JHONATA FERNANDES FERREIRA SILVA

POTENCIAL DE RESERVA DE ÁGUA DE CHUVA NO MUNICÍPIO DE CARUARU-PE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos
Orientadora: Profa. D.Sc. Sylvana Melo dos Santos

Caruaru, 2016.

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva CRB/4 - 1223

S586p Silva, Jhonata Fernandes Ferreira .
Potencial de reserva de água de chuva no município de Caruaru-PE . / Jhonata Fernandes
Ferreira Silva . – 2016.
51f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Sylvana Melo dos Santos.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco,
Engenharia Civil, 2016.
Inclui Referências.

1. Água potável. 2. Água - Captação. 3. Chuvas. 4. Abastecimento de água – Caruaru (PE).
I. Santos, Sylvana Melo dos (Orientadora). II. Título.

620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2016-297)

JHONATA FERNANDES FERREIRA SILVA

POTENCIAL DE RESERVA DE ÁGUA DE CHUVA NO MUNICÍPIO DE CARUARU-PE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil do Centro Acadêmico do
Agreste - CAA, da Universidade Federal de
Pernambuco - UFPE, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o
candidato ALUNO APROVADO COM NOTA _____.

Caruaru, 14 de dezembro de 2016.

Profa. Dra. Sylvana Melo dos Santos _____
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (Orientadora)

Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva _____
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (Avaliador)

Prof. Dr. Gustavo Bono _____
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (Avaliador)

Prof. Dr. Cléssio Leão Silva Lima _____
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (Coordenador da disciplina)

DEDICATÓRIA

A todos familiares e amigos
que sempre me apoiaram e
acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada disso teria se tornado possível. Ele que é sinal de força e superação em minha vida.

A todos da minha família que sempre me deram forças, acreditaram que eu era capaz e se fizeram presentes durante minha vida. De forma especial agradeço ao meu pai João Batista e minha mãe Graça Silva, por estarem durante minha caminhada conversando comigo, me ensinando sobre humildade, paciência, bondade, determinação, mostrando que o caráter e o conhecimento são os maiores bens que eu posso adquirir. A vocês, toda minha gratidão.

Aos meus avós, João Leandro, Josefa Adelina, Maria do Carmo, Fernando Ferreira, que sempre oraram por mim e me deram carinho durante essa jornada.

Ao meu irmão João Paulo, por ser um amigo incrível sempre compartilhando ótimos momentos comigo.

Ao meu amor, Daniele, pela paciência, motivação e carinho que me deu durante todo esse tempo.

A minha professora orientadora Sylvana Santos, por toda sua competência em me orientar, por todos os ensinamentos e por ter me ajudado durante essa jornada em busca de conhecimento.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil, que de alguma maneira participaram da minha formação, sempre despertando em mim a determinação em busca do conhecimento. A todos, minha sincera gratidão.

*“É preciso amar as pessoas,
como se não houvesse
amanhã.”*

Renato Russo

RESUMO

O crescimento acelerado da população mundial tem sido acompanhado por uma crescente demanda por água potável em todo planeta. Devido a isso, nos últimos anos tem-se buscado alternativas para se diminuir essa demanda. Várias pesquisas apontam a captação de água de chuva como uma alternativa promissora. Esta pesquisa tratou de avaliar o potencial de captação de água de chuva para o município de Caruaru, situado no agreste pernambucano. Para isso foram utilizados dados de precipitação fornecidos pela ANA para os últimos 15 anos, obtidos através da *Hidroweb*. Foi feita uma estimativa da área de telhados disponíveis para captação de água, considerando-se uma distribuição das residências no município entre edifícios e casas. Também foi feita uma estimativa considerando que parte dos telhados das residências eram telhados verdes, para ganho de conforto térmico para os moradores. Os resultados encontrados foram bastante coerentes, demonstrando que a captação de água de chuva é uma boa alternativa ao problema da alta demanda por água potável. Os volumes que podem ser captados podem chegar a representar 78,94% do volume necessário para abastecer a cidade durante um mês, para o mês de maiores precipitações. Ao se considerar um ano inteiro, para o pior cenário de chuvas, ainda é possível economizar 20% da água do sistema público. Até mesmo com parte dos telhados sendo destinados a telhados verdes, os volumes de água possíveis de serem captados também são bastante significativos. Os resultados ainda mostram que a utilização de reservatórios fornecidos pelo Governo como referência, armazenando durante o período de chuvas, pode abastecer uma família de 5 pessoas por 31 dias durante a estiagem. Com isso, a captação de água de chuva pode ser considerada uma boa alternativa de grande potencial para mitigação dos problemas com demanda de água no planeta.

Palavras-chave: Água potável, captação de água de chuva, telhado verde.

ABSTRACT

The accelerated growth of the world's population has been accompanied by an increasing demand for potable water throughout the planet. Due to this, in the last years we have been looking for alternatives to reduce this demand. Several researches point to rainwater harvesting as a promising alternative. This research aimed to evaluate the rainwater harvesting potential for the municipality of Caruaru, located in the hinterland of Pernambuco. For this, rainfall data provided by ANA for the last 15 years, obtained through Hidroweb, were used. An estimation of the area of roofs available for rainwater harvesting was made, considering a distribution of the residences in the municipality between buildings and houses. An estimate was also made considering that part of the roofs of the residences were green roofs, to gain thermal comfort for the residents. The results were quite consistent, demonstrating that rainwater harvesting is a good alternative to the problem of high demand for potable water. The volumes that can be captured can represent 78.94% of the volume needed to supply the city during a month, for the month of greater rainfall. When considering a whole year, for the worst rainfall scenario, it is still possible to save 20% of the water in the public system. The results also show that the use of reservoirs supplied by the Government as a reference, storing during the rainy season, can supply a family of 5 persons for 31 days during the dry season. Even with part of the roofs being intended for green roofs, the volumes of water that can be captured are also quite significant. With this, rainwater harvesting can be considered as a good alternative with great potential to mitigate problems with water demand on the planet.

Keywords: Potable water, rainwater harvesting, green roofs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corte esquemático de telhado verde extensivo.	25
Figura 2 - Mapa do estado de Pernambuco com destaque para a localização de Caruaru.	30
Figura 3 - Precipitação média mensal para os anos de 2011 até 2015.	35
Figura 4 - Precipitação média mensal para os anos de 2001 até 2010.	36
Figura 5 - Precipitação média mensal para os anos de 2001 até 2015.	36
Figura 6 - Potencial de reserva de água de chuva - Cenário 1.	38
Figura 7 - Potencial de reserva de água de chuva - Cenário 2.	38
Figura 8 - Potencial de reserva de água de chuva - Cenário 3.	39
Figura 9 - Potencial de economia de água do sistema público - Cenário 1.	41
Figura 10 - Potencial de economia de água do sistema público - Cenário 2.	41
Figura 11 - Potencial de economia de água do sistema público - Cenário 3.	41
Figura 12 - Potenciais de economia de água - Cenário 1.	44
Figura 13 - Potenciais de economia de água - Cenário 2.	44
Figura 14 - Potenciais de economia de água - Cenário 3.	45

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 - Potencial de economia de água potável por região no Brasil.	21
Tabela 2 - Estudos sobre coleta de água de chuva.	22
Tabela 3 - Fertilidade total estimada e projetada para o mundo.	23
Tabela 4 - População mundial estimada e projetada.	23
Tabela 5 - Tipologias e características dos telhados verdes.	24
Tabela 6 - Captação de água de chuva. (uso parcial dos telhados como telhados verdes).	42
Tabela 7 - Potencial de economia de água. (uso parcial dos telhados como telhados verdes).	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGRA	<i>International Green Roof Association</i>
CONDEPE/FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
Kg/m ²	Quilograma por metro quadrado
Km ²	Quilômetro quadrado
L/hab.dia	Litros por habitantes por dia
m	Metros
mm	Milímetros
m ³	Metros cúbicos
m ³ /mês	Metros cúbicos por mês

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos.....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO/ REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1	Ciclo hidrológico.....	18
3.2	Semiárido brasileiro.....	19
3.3	Aproveitamento de água de chuva	20
3.4	Crescimento populacional	22
3.5	Telhados Verdes	23
3.5.1	Tipologias dos Telhados Verdes.....	24
3.5.2	Benefícios térmicos dos telhados verdes.....	25
3.5.3	Telhados verdes em clima semiárido.....	26
3.6	Estimativa do potencial de economia de água do sistema público	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1	Área de estudo	30
4.2	Levantamento de dados e informação de Caruaru	30
4.3	Potencial de reserva de água de chuva em Caruaru	32
4.4	Armazenamento para utilização durante estiagem.....	33
4.5	Cálculo do potencial de reserva de água de chuva considerando parte como telhados verdes	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	Precipitações médias mensais	35
5.2	Número de habitantes por domicílio	36
5.3	Área de telhados	37
5.4	Demanda de água no sistema público de abastecimento	37
5.5	Volume aproveitável de água de chuva captada por telhados	37

5.5.1	Cenário 1 - Período de 2011 à 2015.....	37
5.5.2	Cenário 2 - Período de 2001 até 2010.....	38
5.5.3	Cenário 3 - Período de 2001 até 2015.....	39
5.6	Armazenamento para utilização durante estiagem.....	39
5.7	Potencial de economia de água do sistema público de abastecimento	40
5.8	Estudo considerando uso parcial da superfície de captação com telhados verdes.....	42
5.9	Com e sem uso parcial da superfície de captação com telhados verdes ...	43
6	CONCLUSÕES.....	46
	REFERÊNCIAS.....	48

Potencial de reserva de água de chuva no município de Caruaru-PE

1 INTRODUÇÃO

A população mundial tem crescido rapidamente nos últimos anos, e temas como a disponibilidade de água potável têm ganhado cada vez mais importância. Segundo as Nações Unidas (UN, 2001), a terra possuía, no ano de 2000, por volta de 6,057 bilhões de habitantes e em outro levantamento, feito em 2010, esse número chegou a 6,974 bilhões, o que representou um aumento de 15,14%. No mesmo período, segundo o IBGE (2010), acompanhando essa taxa de crescimento acelerado, o Brasil teve um aumento de 12,48% em sua população. A água é um recurso limitado, e com essa taxa elevada de crescimento populacional, já são esperadas dificuldades para manter o fornecimento de água potável à população. Cheng (2003) fala que desde o final do século 20, devido ao desenvolvimento, questões como disponibilidade de água e poluição tem ganhado grande importância. O autor ainda apresenta um estudo sobre a eficiência de um sistema denominado *green building* ou edifício verde, na economia de água. O autor obteve um resultado de 20% em economia de água dentro dos edifícios que empregaram o sistema.

No Brasil, um dos problemas existentes é a distribuição hídrica inadequada em relação à densidade demográfica para algumas regiões. Segundo a ANA (2013), mesmo o Brasil possuindo 13% da água doce disponível no planeta, 80% desse total está localizado na Região Hidrográfica Amazônica que possui o menor contingente populacional entre as regiões de desenvolvimento do país, com aproximadamente 5% da população brasileira. Enquanto na Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental, onde há 12,6% da população do país, há menos de 0,01% da água doce disponível.

O IBGE (2013) aponta que, no Brasil, 85,4% dos domicílios são atendidos pelo sistema público de abastecimento de água. A mesma pesquisa mostra que o Nordeste possui 80,6% dos seus domicílios com acesso a água da rede pública. Segundo o CONDEPE/FIDEM (2016), o município de Caruaru conta com 97,6% dos seus domicílios com acesso a rede pública de abastecimento.

Por todo o mundo, muitos pesquisadores sugerem a captação de água de chuva como uma alternativa à crescente demanda por água potável no planeta. Vários trabalhos, como Fernandes, Terêncio & Pacheco (2015), em Portugal, Akter & Ahmed (2015), em Bangladesh, entre outros, apontam a coleta de água de chuva como uma forma de se diminuir a demanda por água potável distribuída por sistemas públicos de abastecimento.

Neste contexto, pesquisas como a de Farias (2012) apontam resultados bastante promissores para a região. De acordo com o autor, o armazenamento da água de chuva captada pode representar 31% da água necessária para abastecer o município de Caruaru.

Souza *et al.* (2006) aponta que Caruaru está situada em região de clima semiárido, com a temperatura variando de 22° à 30° C. Pesquisas como a de Mattos (2015) aponta que a utilização de telhados verdes é uma alternativa para mitigação de grandes variações de temperatura.

Esta pesquisa irá abordar a captação de água de chuva na cidade de Caruaru - PE, que está localizada na Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental, como uma alternativa ao problema da crescente demanda por água potável. Para isso será considerado uma série histórica com dados de precipitação em três períodos diferentes, um com o cenário de chuvas positivo, dentro da média histórica, um com um cenário negativo, abaixo da média histórica, e a média dos dois cenários. Para mitigação dos problemas de temperatura, será feita também a verificação do potencial de reserva de água de chuva considerando o uso parcial de telhados verdes nas residências.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de reserva de água de chuva no município de Caruaru localizado no estado de Pernambuco em comparação com a quantidade de água potável fornecida pelo sistema de abastecimento público.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a quantidade de água de chuva que pode ser captada através de telhados no município de Caruaru-PE utilizando dados sobre precipitação dos últimos 15 anos, considerando 3 cenários com diferentes séries pluviométricas;
- Estimar a demanda anual por água potável na cidade;
- Estabelecer o percentual de economia de água potável a partir da comparação do volume de água de chuva armazenado com a demanda anual por água potável na cidade;
- Estimar a redução do potencial de reserva de água com o emprego de telhados verdes em alguns cômodos das residências típicas da região;
- Comparar o potencial de reserva da água com e sem o uso (parcial) de telhados verdes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO/ REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Ciclo hidrológico

Usualmente é considerado que toda água utilizável pelo homem é oriunda da atmosfera, onde ela pode ser encontrada na forma de partículas como gelo ou neve, ou na forma de vapor. Em uma visão geral do ciclo hidrológico, quando as gotículas de água atingem uma certa dimensão, elas precipitam no formato de chuva. Dependendo das zonas de temperatura que essas gotículas atravessam até chegar na superfície da Terra, elas podem precipitar na forma de granizo ou de neve. Parte do volume precipitado não atinge o solo, isso porque é interceptada na vegetação. Do volume que atinge o solo, uma parte irá escoar superficialmente e evaporar, enquanto a outra irá infiltrar (PINTO *et al.*, 1976).

O ciclo hidrológico pode, ainda, ser considerado como a composição de duas fases principais, uma atmosférica e outra terrestre. Cada uma dessas fases inclui o armazenamento temporário, o transporte e a mudança de estado da água. Devemos levar em consideração que se trata de um ciclo fechado quando o consideramos como um fenômeno global, em contrapartida podemos ter um ciclo hidrológico aberto à nível local, isso porque a superabundância ou a escassez de chuvas representam extremos da variação de água no ciclo dentro de uma área limitada (GARCEZ & ALVAREZ, 1988).

Garcez & Alvarez (1988), por outro lado, definem o ciclo hidrológico dentro de quatro etapas principais, sendo elas: precipitações atmosféricas, escoamentos subterrâneos, escoamentos superficiais e evaporação. Entende-se por precipitação como sendo toda água proveniente do vapor de água concentrado na atmosfera que se deposita no solo, seja na forma de chuva, granizo, neve, orvalho, neblina ou geada. A atmosfera pode ser considerada como um grande reservatório e como um vasto sistema de transporte de água, todas as transformações que ocorrem nela são às custas do calor emitido pelo sol (PINTO *et al.*, 1976). Garcez & Alvarez (1988) falam que as precipitações atmosféricas formam o elo de ligação entre os fenômenos meteorológicos e o escoamento superficial, e mencionam que é um parâmetro que apresenta relativa facilidade para se medir.

De acordo com Garcez & Alvarez (1988), as águas oriundas de precipitações que venham a ficar retidas sobre o solo, podem infiltrar devido à ação da gravidade e daí originar a fase subterrânea do ciclo hidrológico. O fenômeno da infiltração está

intimamente ligado às características que o solo apresenta, desde sua formação geológica, até o tipo de vegetação que ele comporta, que influencia diretamente na forma de obstáculos ao escoamento superficial. Para Pinto *et al.* (1976), abaixo da superfície, devido a forças como atração molecular e adesão, a água pode se encontrar em duas zonas distintas, a zona de aeração e a zona saturada. De acordo com os autores, na zona de aeração os vazios no solo são parcialmente ocupados por água, enquanto o restante dos espaços livres são ocupados por ar, e na zona saturada todos os espaços são ocupados por água, onde atua a pressão hidrostática. Para Garcez & Alvarez (1988), o escoamento superficial é a fase do ciclo hidrológico que trata diretamente da água que, por efeitos gravitacionais, se desloca na superfície da terra. Os autores destacam que as águas superficiais representam uma das maiores riquezas da humanidade, para se ter uma ideia basta ter em mente a quantidade de problemas que afligem regiões com escassez desse recurso. Segundo Pinto *et al.* (1976), sendo a evaporação um fenômeno onde a água presente no solo e cursos d'água, e a transpiração, a evaporação que ocorre devido a processos fisiológicos de plantas e vegetais, considerando que a água volta para a atmosfera na forma de vapor pela folhas, a esse conjunto de ações é dado o nome de evapotranspiração. Zhao *et al.* (2016) afirmam ainda que a evapotranspiração é o maior processo de perda de água dentro de um ecossistema.

3.2 Semiárido brasileiro

Segundo o IBGE (2016) a região semiárida do país foi delimitada com base na isoieta de 800 mm, no risco de seca superior a 60%. Devido as condições climáticas dominantes de semiaridez, conta com uma hidrografia pobre e as condições hídricas não são suficientes para sustentar rios que se mantenham perenes nos longos períodos de estiagem, excetuando-se o Rio São Francisco. Medeiros *et al.* (2012, apud Mattos, 2015) comenta que a região semiárida representa 13% do território nacional com uma população que supera os 22 milhões de habitantes.

Suassuna (2002) fala que o semiárido é uma região sujeita à períodos cíclicos de secas e ainda possui uma taxa de evapotranspiração elevada. Montenegro & Montenegro (2012) apontam que o semiárido brasileiro dispõe de uma precipitação média anual de 750 mm e uma elevada taxa de evapotranspiração que chega até 2500 mm ao ano, gerando elevados déficits hídricos. Segundo os autores a região apresenta uma distribuição de precipitação irregular no tempo, solos rasos, rios

intermitentes, e escassos recursos hídricos subterrâneos. O período de precipitação excedente pode ser extremamente curto em regiões semiáridas, exigindo acumulação de água em reservatórios naturais ou artificiais. (ARAÚJO, 2012). Características como essas evidenciam a necessidade de alternativas para obtenção de água na região.

A região semiárida também é castigada por altas temperaturas. Segundo Ramalho (2013) a temperatura média gira em torno de 28° C e máxima em torno de 40° C. Santos (2009, apud Ramalho, 2013) diz ainda que a temperatura pode atingir até 45° C nos dias de maior insolação. Devido a essas altas temperaturas, tem se buscado alternativas para sua mitigação nas residências. Pesquisas como a de Mattos (2015), que estuda o desempenho térmico de telhados verdes em clima semiárido, é um bom exemplo.

3.3 Aproveitamento de água de chuva

A aplicação de sistemas que captam água de chuva para utilização doméstica não é algo recente, tais sistemas já eram aplicados em regiões semiáridas, sendo que estudos apontam registros que remontam desde 4500 a. C. (VERMA & TIWARI, 1995 apud AKTER & AHMED, 2015). Pesquisas mais recentes mostram que uma grande parte da água utilizada em edificações pode ser substituída pela água proveniente da chuva, sendo essa, um recurso natural de fácil coleta, aplicada para fins domésticos, comerciais ou até industriais (FERNANDES, TERÊNCIO & PACHECO, 2015). Herrmann & Schmida (1999) apontam que a ideia de se utilizar sistemas de captação é voltada para se poupar água potável, de precioso valor, que é utilizada em descargas de sanitários, por exemplo, e substituí-la por água coletada dos telhados.

Há um grande número de pesquisas para se estudar o potencial de economia de água potável através da utilização de água de chuva. Na Alemanha, Herrmann & Schmida (1999) realizaram um estudo onde encontraram que a economia de água potável em uma casa poderia variar de 30% à 60%, dependendo dos hábitos de consumo e da área de telhados disponível. Gnadlinger (1997 apud FARIAS, 2012) apontou que normalmente o telhado de uma residência é suficiente para se instalar uma captação de água de chuva e fornecer água para uma família cozinhar e beber por um ano, em aproximadamente 90% dos casos no Nordeste. Ghisi (2006) também realizou estudos sobre o potencial de economia da água potável com o uso de água

de chuva para todas as regiões do Brasil e obteve resultados satisfatórios, que são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Potencial de Economia de água potável por região no Brasil.

Região	Potencial de Economia de água potável (%)
Norte	100
Nordeste	61
Sudeste	48
Sul	82
Centro-oeste	74

Fonte: Ghisi (2006).

Resultados de diversas pesquisas (GHISI, 2006; GHISI, MONTIBELLER & SCHMIDT, 2006; GHISI, TAVARES & ROCHA, 2009; GHISI, CARDOSO & RUPP, 2012) demonstram uma grande relação do potencial de captação, e consequentemente da possibilidade de economia da água fornecida pelo sistema de abastecimento, com a intensidade das chuvas no local de estudo. Pelos resultados obtidos por Ghisi (2006), a região sudeste do Brasil tem um valor abaixo de 50% devido ao grande contingente populacional, enquanto que na região nordeste do país, esse valor é de 61% devido à escassez de chuva. A ANA (2013) aponta uma média de precipitação anual de 1761 mm para o país, mas com uma faixa de valores que variam de 500 mm, na região semiárida do Nordeste, até 3000 mm, na região Amazônica. Ghisi, Cardoso & Rupp (2012) avaliaram o emprego de séries curtas ao invés de longas no cálculo do volume captado de água de chuva com o emprego de modelagem computacional e concluíram que a diferença entre os volumes de água encontrados para uma série curta e uma série longa é mínima, em torno de 5% para séries curtas a partir de 5 anos. Eles ainda destacaram outras pesquisas que também utilizaram séries curtas de precipitação em fins diversos: Ghisi, Tavares & Rocha (2009) para estimativa da coleta de água para a lavagem de carros em um posto de gasolina no Brasil, Herrmann & Schmida (1999) para dimensionamento de estruturas hidráulicas de drenagem urbana na Alemanha, Villarreal & Dixon (2005) para estimativa de coleta de água de chuva em edifícios residenciais na Suécia, entre outros. A Tabela 2 apresenta de forma sucinta alguns estudos sobre coleta de água da chuva, com seus respectivos objetivos e principais resultados alcançados.

Tabela 2 - Estudos sobre coleta de água de chuva.

Referência	Objetivos	Principais Resultados Encontrados
Ghisi, Cardoso & Rupp (2012)	Investigar o uso de séries históricas de precipitação curtas ao invés de longas no cálculo do volume de água da chuva captado.	Diferença mínima, ao se considerar como séries longas àquelas com períodos maiores que 10 anos.
Ghisi, Tavares & Rocha (2009)	Avaliar o potencial de economia de água potável com a utilização de água da chuva em lavagens de carros em um posto de gasolina.	Economia média de 32,7% (variando de 9,2% até 57,2%).
Villarreal & Dixon (2005)	Simular com modelagem computacional o percentual de economia da água potável com o uso água de chuva em fins domésticos.	O sistema se mostrou eficiente para poupar água potável ao se empregar a água de chuva nos usos do banheiro, em especial nas descargas que correspondem ao maior consumo do recinto.
Ghisi, Bressan & Martini (2007)	Avaliar o potencial de economia de água potável com o uso da água de chuva no setor residencial de 195 cidades do sudeste brasileiro.	Potencial médio de economia da ordem de 41%. Necessidade de dimensionamento de tanques de armazenamento para cada local.
Akter & Ahmed (2015)	Empregar a análise multicritério na avaliação de zonas com potencial para uso de sistemas de coleta de água de chuva em áreas residenciais.	Elaboração de um guia para dar suporte a decisão de implantação de sistemas de coleta de água de chuva.

Devido ao grande crescimento populacional observado pelo mundo, se faz necessário novas pesquisas no âmbito de coleta de água de chuva considerando os novos dados populacionais.

3.4 Crescimento populacional

As Nações Unidas (UN, 2010) definem como fertilidade total o número médio de crianças que uma mulher poderia gerar se sua taxa de fertilidade permanecesse inalterada durante sua vida. Ainda mostra que a projeção para as taxas de fertilidades, diferentes para cada país ou região, influencia diretamente nos resultados das projeções populacionais. A Tabela 3 apresenta a taxa de fertilidade encontrada em alguns períodos do final do século 20 e sua estimativa para outros períodos até o ano de 2100.

Tabela 3 - Fertilidade total estimada e projetada para o mundo.

Período	Fertilidade Total por mulher	
	Taxa de Variação	Média de crianças
1970-1975		4,45
1990-1995		3,04
2005-2010		2,52
2045-2050	Baixa	1,71
	Média	2,17
	Alta	2,64
2095-2100	Baixa	1,55
	Média	2,03
	Alta	2,51

Fonte: Nações Unidas (UN, 2010).

Segundo as Nações Unidas (UN, 2000), no ano de 1950 a população mundial era de aproximadamente 2,519 bilhões, e esse valor teve um crescimento de pouco mais de 140% dentro de 50 anos, atingindo 6,057 bilhões em 2000. Foi feita ainda, uma projeção que até 2050 a população mundial chegará a aproximadamente o dobro da atual, considerando uma alta taxa de fertilidade. A Tabela 4 apresenta a seguir os valores obtidos pelas Nações Unidas e a projeção de crescimento até o ano de 2100 considerando a taxa de fertilidade alta.

O Brasil acompanha a mesma taxa de crescimento acelerado observada no cenário mundial. Segundo o IBGE (2010), no ano de 2000 eram aproximadamente 170 milhões de brasileiros, e em 2010 esse número chegou a pouco mais de 190 milhões que representa um crescimento de 12,48%. É esperado que com um crescimento intenso da população, comece a aparecer problemas de disponibilidade de água potável que os governos não estão prontos para enfrentar.

Tabela 4 - População mundial estimada e projetada.

Ano	População Mundial (milhões)
1950	2519
2000	6057
2011	6974
2050	10614
2100	15805

Fonte: UN (2000, 2011).

3.5 Telhados Verdes

Segundo Ohnuma, Almeida Neto & Mediondo (2014), a utilização de telhados verdes não é algo recente, elas datam de milhares de anos atrás, sendo das mais

antigas construídas, os Jardins Suspensos da Babilônia. Os autores ainda comentam sobre os benefícios em se utilizar esse tipo de estrutura, afirmando que a presença de cobertura vegetal em telhados propicia uma redução do volume de água escoada. Kolb (2003 apud OHNUMA, ALMEIDA NETO & MEDIONDO, 2014) aprofundou os estudos sobre telhados verdes com resultados obtidos na cidade de Veitshöchheim, na Alemanha, comprovando que essas estruturas tem o potencial de reduzir a amplitude térmica em ambientes de 60 a 90%. Outros autores também descreveram os benefícios desse tipo de estrutura sobre a temperatura ambiente abaixo dos telhados verdes: Squier & Davidson (2016), Liu & Minor (2005), Wong *et al.* (2003), Mattos (2015), entre outros.

3.5.1 Tipologias dos Telhados Verdes

Segundo IGRA (2016), os telhados verdes podem ser divididos em três tipos - extensivo, semi-intensivo e intensivo, cujas diferenças são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Tipologias e características dos telhados verdes.

Características	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Manutenção	Baixo	Periodicamente	Alto
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente
Plantas	Ervas e gramíneas	Gramas, ervas e arbustos	Gramados, arbustos e árvores
Altura do Sistema	60-200 mm	120-250 mm	150-400 mm
Peso	60-150 kg/m ²	120-200 kg/m ²	180-500 kg/m ²
Custos	Baixo	Médio	Alto
Uso	Camada de proteção ecológica	Telhado verde projetado	Parque igual a um jardim

Fonte: IGRA (2016).

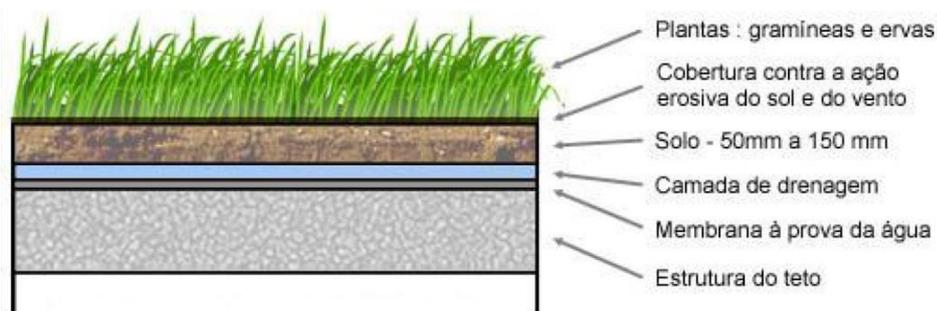
O autor descreve cada um desses tipos da seguinte forma:

- Extensivo: esse tipo é bem adequado para telhados com capacidade pequena de carga. Os custos são mais baixos do que os do semi-intensivo ou do intensivo. A camada de substrato mineral, contendo poucos nutrientes, não é muito profunda, mas é adequada para as comunidades de plantas baixas.
- Intensivo: com camada de substrato maior que o extensivo, as possibilidades de vegetações são também maiores, bem como a manutenção exigida. Neste caso, normalmente o tipo de vegetação necessita de irrigação permanente, sendo possíveis os empregos de árvores e arbustos.

- Semi-intensivo: este tipo de telhado é o meio termo entre telhados verdes extensivos e intensivos. Mais atividades de manutenção, custos mais elevados, e mais peso são algumas características dos telhados semi-intensivos em comparação com os extensivos. Como possui um substrato mais profundo, possibilita o emprego de mais possibilidades de vegetações que os extensivos, como plantas herbáceas, arbustos, dentre outras.

De acordo com Silva (2011), os telhados são compostos por cinco camadas: camada impermeabilizante, com a função de proteger a laje das infiltrações, através da utilização de materiais betuminosos ou até mesmo sintéticos; camada drenante, com a finalidade de drenar o excesso de água, também servindo como filtro para separar poluentes, constituída de britas, seixos, argila expandida dentre outros; camada filtrante, responsável por filtrar partículas que seriam arrastadas pela água da chuva; membrana de proteção contra raízes, para controlar o crescimento de raízes danosas ao sistema. Na Figura 1 é apresentado um esquema com os componentes dos telhados.

Figura 1 - Corte esquemático de telhado verde extensivo.



Fonte: Traduzido de Auckland (1998 apud TOMAZ, 2008).

3.5.2 Benefícios térmicos dos telhados verdes

Takebayashi & Moriyama (2007 apud SQUIER & DAVIDSON, 2016), apontam que telhados verdes podem ajudar na regulação de processos térmicos dos ambientes abaixo dos mesmos, o que provoca uma redução de gastos com refrigeração e aquecimento em edifícios, além de diminuir os efeitos das ilhas de calor nos centros urbanos. Liu & Minor (2005) realizaram uma pesquisa na cidade de Toronto, Canadá, através da instalação de dois telhados verdes extensivos, diferentes apenas nos

materiais, e de um telhado de referência. Os autores encontraram que a média diária de fluxo de calor nos telhados era de 70 a 90% menor nos telhados verdes durante o verão, e de 10 a 30% menor no inverno em relação a um telhado convencional.

Quando se trata de conservação de energia, os efeitos combinados entre evapotranspiração, isolamento térmico e sombreamento fazem dos telhados verdes uma peça de grande importância na modulação de microclimas e no melhoramento das performances térmicas em edifícios. Um estudo realizado por He, Dong & Ye (2016), em Shanghai, na China, mostrou que os telhados verdes diminuem significativamente as variações de temperatura nas camadas estruturais. Os autores observaram que para o telhado verde a máxima amplitude de temperatura foi de 6,5°C enquanto que para o telhado convencional foi de 39°C, além disso a temperatura do ar no ambiente interno com o telhado verde foi 2°C menor que a do telhado convencional no horário de meio dia, quando a radiação solar era mais forte. Por outro lado, segundo He, Dong & Ye (2016), durante a noite a temperatura sobre os telhados verdes foi 2,5°C maior que sobre o telhado convencional, o que demonstra bem o efeito de isolamento térmico dos telhados verdes.

Outros estudos ainda, como o de Jim & Peng (2012), avaliaram o desempenho térmico de um telhado verde extensivo em uma estação de trem em clima subtropical húmido em Hong Kong. Os autores encontraram que o telhado verde levou a uma redução da temperatura máxima da superfície dos telhados em 5,2° C, e a temperatura do ar em 0,7° C. Orasio, Perna & Giuseppe (2012) também estudaram o desempenho de telhados verdes em uma construção em clima temperado, encontrando que as plantas refletem 13% de toda radiação e absorve 56% da radiação solar incidente. Os autores estimaram ainda que 31% da radiação global incidente entra no sistema.

3.5.3 Telhados verdes em clima semiárido

A utilização de telhados como técnica para mitigação de efeitos térmicos sobre residências se mostra bastante viável devido as condições climáticas do semiárido. Theodosiou (2003) fala que a umidade relativa do ar é o fator climático que mais interfere no desempenho de telhados verdes, ele ainda aponta que um clima seco, aumenta as capacidades de resfriamento dos telhados. Lin *et al.* (2013) encontraram que a eficácia de telhados verdes extensivos em resfriamento é mais significativa quando a temperatura é maior.

Mattos (2015) também encontrou resultados positivos quanto à eficiência térmica dos telhados em uma pesquisa realizada no município de Caruaru, de clima semiárido, e observou uma redução de 2,9°C e 1,5°C nas horas de máxima e mínima temperaturas, respectivamente. Wong *et al.* (2003) apontam que os benefícios térmicos fornecidos pelos telhados são os resultados do consumo do calor solar através de processos como transpiração e fotossíntese. Além de que esses telhados absorvem menos a radiação solar do que os telhados convencionais.

3.6 Estimativa do potencial de economia de água do sistema público

Os problemas de escassez e de poluição dos recursos hídricos têm resultado na crescente necessidade de melhorar o gerenciamento do seu uso. Resende & Pizzo (2007 apud MINIKOWSKI & MAIA, 2009) afirmam que toda economia gerada pela água aproveitada também recai em economia para águas de uso nobre, pois a partir do momento em que não se usa a água fornecida pela concessionária de abastecimento, para usos não nobres, esse recurso é preservado para o consumo direto humano. De acordo com Cohim *et al.* (2007 apud MINIKOWSKI & MAIA, 2009), a captação direta de águas pluviais nas edificações pode ser considerada ainda como uma fonte alternativa para a redução da demanda do sistema público. Esta possível redução pode ser entendido como um potencial de economia de água do sistema público de abastecimento.

Para Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006), o potencial de economia de água do sistema público de abastecimento é determinado a partir da relação entre o volume mensal de água de chuva que pode ser coletado e a demanda mensal de água do sistema público de abastecimento, Equação 3.1.

$$PPWS = 100x \left(\frac{VR}{PWD} \right) \quad (3.1)$$

onde: PPWS é o potencial mensal de economia de água do sistema público de abastecimento; VR é o volume mensal de água de chuva que pode ser coletado, em m³/mês; PWD, demanda mensal de água do sistema público de abastecimento, em m³/mês.

O volume de água com potencial de ser coletado pode ser determinado considerando os dados de precipitação mensal, a área total de telhados, e um coeficiente de escoamento. O volume de água possível de ser coletado pode ser determinado através da Equação 3.2.

$$VR = \frac{R \times TRA \times Rc}{1000} \quad (3.2)$$

onde: VR é o volume mensal de água de chuva que poderia ser coletado, em m³/mês; R, a precipitação média mensal, em mm/mês; TRA, a área total de telhados de domicílios com abastecimento de água, em m²; Rc, o coeficiente de escoamento; 1000, o fator de conversão de litros para m³.

A área total de telhados de domicílios com abastecimento de água que podem ser utilizados como superfícies de captação, pode ser considerada, assim como foi feito por Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006) e Farias (2012), a partir do produto da média ponderada da área de telhados por domicílio e o número de domicílios com população abastecida pelo sistema público (Equação 3.3).

$$TRA = RA \times ND \quad (3.3)$$

onde: TRA é a área total de telhados de domicílios com abastecimento de água, em m²; RA é a média ponderada de área de telhado por domicílio, em m²; ND, o número de domicílios abastecidos com água do sistema público.

Para determinação da média ponderada da área do telhado por domicílio pode-se utilizar a relação explicitada na Equação 3.4.

$$RA = (H \times AC) + (F \times PD \times PA) \quad (3.4)$$

onde: RA é a média ponderada de área de telhado por domicílio no município de Caruaru, em m²; H, é o percentual de casas; F, o percentual de apartamentos; AC, a área do telhado das casas; PA, a área por pessoa por apartamento, m²; PD é o número de habitantes por domicílio.

Na determinação da área por pessoa por apartamento, PA, pode-se considerar a Equação 3.5.

$$PA = \text{Área por pessoa por domicílio} \left(\frac{m^2}{hab} \right) = \frac{\text{Área do telhado por apto.} \left(\frac{m^2}{dom} \right)}{\text{Qtde. de pessoas por apto.} \left(\frac{hab}{dom} \right)} \quad (3.5)$$

O número de habitantes por domicílios, PD, pode ser determinado pela Equação 3.6.

$$PD = \frac{PC}{NDC} \quad (3.6)$$

onde: PD é o número de habitantes por domicílio; PC, a população no município; NDC, o número de domicílios no município.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A cidade de Caruaru está localizada na região do Agreste do estado de Pernambuco, Figura 2, no nordeste do Brasil, possui 920,611 km² de extensão territorial e de acordo com o CONDEPE/FIDEM conta com 314.912 habitantes. De acordo com Souza *et al.* (2006), o município está situado sobre o planalto da Borborema, com uma altitude média de 555 m, contando com um clima semiárido e uma precipitação anual média de 634 mm. O autor ainda define o período chuvoso como sendo entre os meses de abril e junho, e que os valores atingidos pela evaporação anual superam os valores de precipitação.

Figura 2 - Mapa do estado de Pernambuco com destaque para a localização de Caruaru.



Fonte: Lima (2013).

Caruaru está localizada em uma área de clima tropical do tipo semiárido. A aridez é menos acentuada, devido aos efeitos de altitude. Segundo Souza *et al.* (2006) a temperatura média de Caruaru varia entre 22° e 30° C, sendo a média anual por volta de 24° C.

4.2 Levantamento de dados e informação de Caruaru

Em se referindo ao nível de abastecimento de água no município de Caruaru, de acordo com a CONDEPE/FIDEM (apud FARIAS, 2012), 97,59% dos domicílios recebem água do sistema de abastecimento, o que pode ser considerado um valor alto tendo em vista que, no estado temos uma média de 17% dos domicílios como abastecimento considerado inadequado.

Para avaliar o potencial de economia de água do sistema público de abastecimento, foi utilizado como base a metodologia apresentada por Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006), sendo necessário a obtenção dos seguintes dados: precipitação, consumo de água do sistema público de abastecimento, população e quantidade de domicílios do município de Caruaru.

a) Dados de precipitação

Para estimativa deste potencial, foi considerado os dados pluviométricos da área de estudo. Os valores totais mensais de precipitação para o período de 15 anos (de 2001 até 2015) da cidade de Caruaru, levando-se em conta a situação mais atual possível, foram obtidos no site da ANA (HidroWeb) para a estação Caruaru (código 835106 na ANA).

b) Consumo de água do sistema público de abastecimento

O consumo de água *per capita* foi obtido pelo Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNSA, 2010), com um valor de 101,4 L/hab/dia para o município de Caruaru. Valor maior do que Ghisi (2006) encontrou para a região Nordeste que foi de 97 L/hab/dia. Essa diferença se deve ao fato do cálculo do autor levar em consideração também a região do sertão Nordestino, com dificuldades de obtenção de água para consumo.

c) População de Caruaru

O município de Caruaru apresentou um crescimento populacional de 19,46% no período de 2000 até 2010. Segundo o CONDEPE/FIDEM (2016) o município contava com 253.634 habitantes em 2000 e passou a ter 314.912 habitantes no ano de 2010.

d) Quantidade de domicílios de Caruaru

O município de Caruaru contava com 68.225 domicílios permanentes no ano de 2000, este número passou a ser de 96.304 domicílios no ano de 2010. Do total de domicílios, 77,15% possuem saneamento adequado, o que compreende: rede de água, rede de esgoto, coleta de lixo, 20,44% possuem saneamento semi-adequado, enquanto 2,41% não possuem nenhuma forma de saneamento. Com os 77,15% do saneamento adequado, mais os 20,44% do saneamento semi-adequado, temos que 97,59% dos domicílios de Caruaru possuem pelo menos uma forma de saneamento

adequada, e são conectados ao sistema público de abastecimento. (CONDEPE/FIDEM, 2016).

4.3 Potencial de reserva de água de chuva em Caruaru

No cálculo do potencial de reserva de água de chuva em Caruaru, foram utilizadas 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.

- Número de habitantes abastecidos com água do sistema público de abastecimento (NP): para estimativa da população que é abastecida com água do sistema público utilizou-se o número de habitantes por domicílio e o número de domicílios abastecidos por água do sistema público, obtidos no CONDEPE/FIDEM (2016), Equação 4.1.

$$NP = ND \times PD \quad (4.1)$$

onde: NP é a população abastecida com água do sistema público; ND, o número de domicílios abastecidos com água do sistema público; PD, número de habitantes por domicílios.

Ambos os números de domicílios abastecidos com água do sistema público de abastecimento (ND) e os números de habitantes por domicílio (PD), na cidade de Caruaru foram obtidos de informações da Agência Estadual de Pesquisas e Planejamento de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM), no Perfil Municipal disponível na Base de dados do Estado (Disponível em <http://www.bde.pe.gov.br/estruturacaogeral/PerfilMunicipios.aspx>).

- Tamanho e natureza da superfície de captação: em uma pesquisa sobre a coleta de água de chuva em telhados, Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006) apresentaram os percentuais de casas e apartamentos para cada região geográfica do Brasil. No caso do Nordeste, onde está compreendida nossa área de estudo, os percentuais apresentados pelo autor foram: 94,7% para casas e 5,3% para apartamentos. Como não existem informações oficiais sobre a área média de telhados na região Nordeste, foi então adotado a consideração feita por Ghisi, Montibeller & Schmidt

(2006). Os autores também não conseguiram nenhum dado e adotaram uma área de 85 m² para os telhados de casas e 15 m² para os telhados dos apartamentos. Todas as superfícies de captação das edificações são compostas por telhas cerâmicas para se investigar o potencial de reserva de água de chuva em Caruaru. Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006) adotaram um valor de 3,75 m² para a área ocupada por pessoa por apartamento, PA. Por outro lado, os dados obtidos nesta pesquisa indicaram que a quantidade média de habitantes por domicílios na, área de estudo, foi de 3,27. Esse valor foi obtido a partir da Equação 3.6 com uma população de 314.912 habitantes, e um total de 96.304 domicílios.

- Volume total precipitado: o volume de água com potencial de ser coletado foi determinado considerando os dados de precipitação mensal, a área total de telhados, e um coeficiente de escoamento, Rc. Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006) adotaram um coeficiente de escoamento, Rc, de 0,8, o que indica uma perda de 20% de água devido a limpeza dos telhados.

A demanda de água mensal do sistema de abastecimento para o município de Caruaru, foi obtida a partir do site do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNSA, 2010).

4.4 Armazenamento para utilização durante estiagem

Segundo o Ministério da Integração Nacional (2016), o Governo Federal através do programa água para todos, distribuiu cisternas na região nordeste para armazenamento de água de chuva. Essa medida foi tomada visando combater a escassez de água durante o longo período de estiagem. As cisternas distribuídas possuem um volume de 16.000 litros. Nessa pesquisa foi considerado que todos os domicílios do estudo possuíam um reservatório com o volume de 16 m³, com intuito de ser realizar uma estimativa do tempo de que a água armazenada em uma dessas cisternas, poderia abastecer uma família de cinco pessoas no município.

4.5 Cálculo do potencial de reserva de água de chuva considerando parte como telhados verdes

Para se avaliar o potencial de reserva de água de chuva descontando uma parcela de telhados verdes, foi necessário realizar uma alteração no valor de área de

telhados de casas utilizados na Equação 3.4, que era de 85 m² com base no trabalho de Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006). Para isso, considerou-se o Código de Obras do município de Caruaru (1977), que define como sendo a área mínima para quartos em residências como sendo de 8 m². Para esse trabalho será considerado a existência de dois quartos em cada residência, 8 m² cada, e que cada quarto receberá um telhado verde para ganho de conforto térmico para os moradores, totalizando 16 m² de telhado verde. Tendo em vista que os quartos são os cômodos que demandam maior conforto térmico, em se tratando do ambiente de descanso durante a noite. Tirando a área de telhados verdes, 16 m², da área de telhados para residências, 85 m², temos que a nova área disponível por residência para a captação de água de chuva passa a ser de 69 m². Que será o novo valor a ser utilizado na Equação 3.4, a partir daí todos os cálculos foram refeitos com base na nova média ponderada de área de telhados.

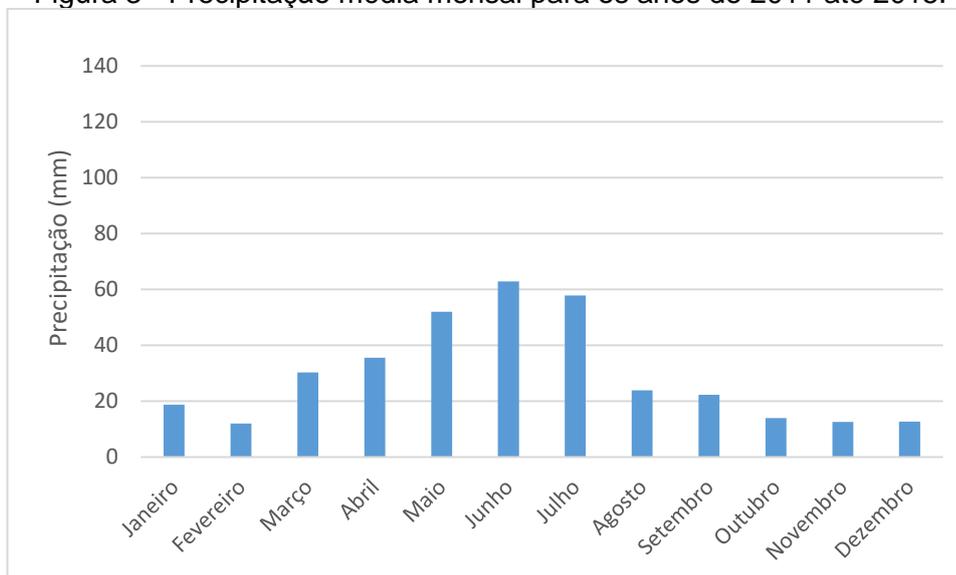
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O potencial de reserva de água de chuva para o município de Caruaru foi investigado nessa pesquisa considerando-se uma série pluviométrica em três períodos diferentes, de 2011 à 2015, de 2001 à 2010 e de 2001 à 2015.

5.1 Precipitações médias mensais

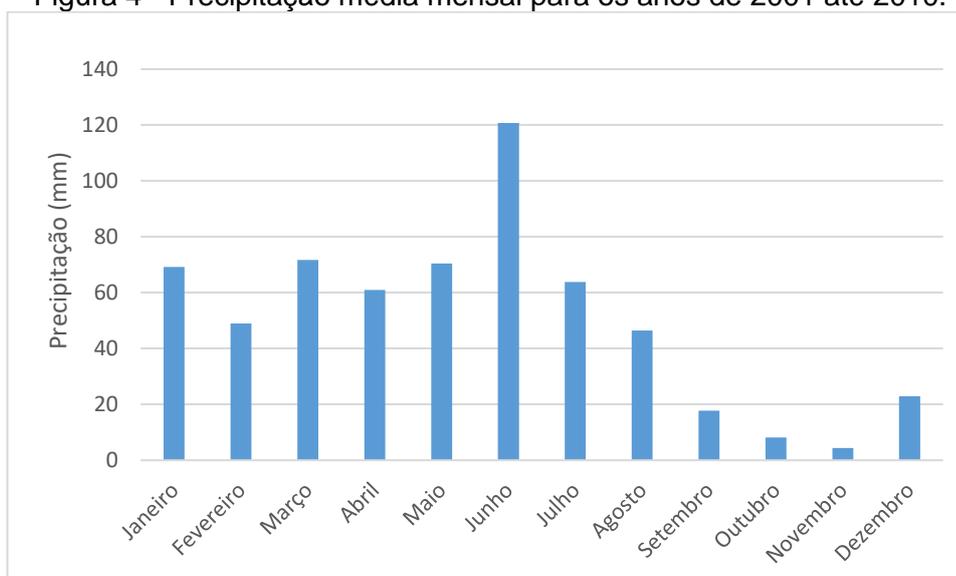
Com os dados de precipitação obtidos através da ANA (HidroWeb), foi possível calcular as médias mensais considerando três situações diferentes. A primeira situação, apresentada na Figura 3, considera a média da precipitação mensal para o período de 2011 à 2015, que é uma situação atípica, de escassez hídrica. A segunda situação, apresentada na Figura 4, leva em conta a precipitação média mensal para o período de 2001 à 2010, onde a situação de chuvas esteve em consonância com a média histórica. A terceira e última situação, apresentada na Figura 5, leva em conta a média mensal da precipitação para os 15 anos do estudo (de 2001 até 2015). Em seguida são comparados os valores obtidos para os 3 cenários.

Figura 3 - Precipitação média mensal para os anos de 2011 até 2015.



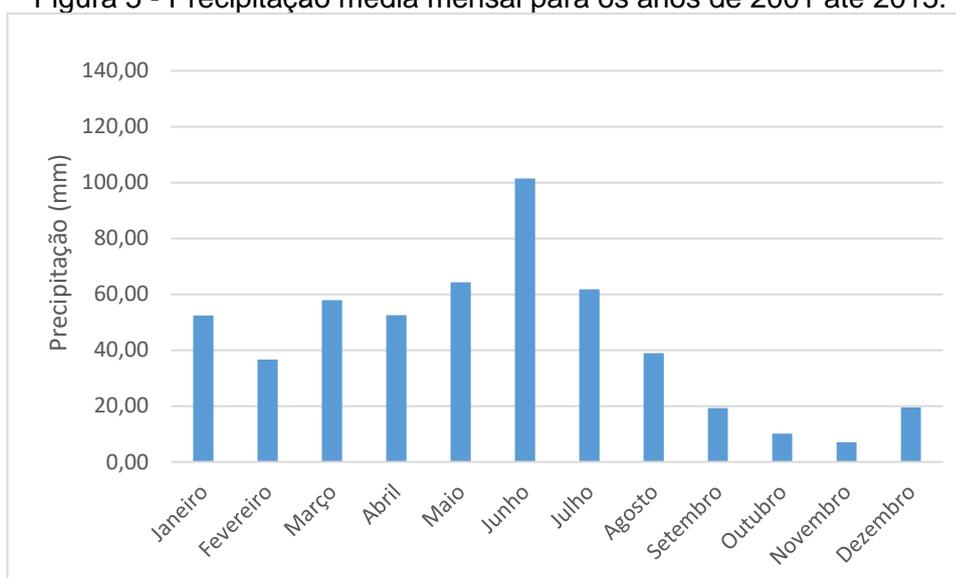
Fonte: ANA - HidroWeb (2016).

Figura 4 - Precipitação média mensal para os anos de 2001 até 2010.



Fonte: ANA - HidroWeb (2016)

Figura 5 - Precipitação média mensal para os anos de 2001 até 2015.



Fonte: ANA - HidroWeb (2016)

5.2 Número de habitantes por domicílio

O número de habitantes por domicílio encontrado foi de 3,27 no município de Caruaru, que foi obtido através da Equação 3.6 considerando 314.912 habitantes e 96.304 domicílios. Este número é diferente do encontrado por Farias (2012) que encontrou uma média de 2,86 habitantes por domicílio para a mesorregião do Agreste. Essa diferença se deve ao fato de nesse estudo estarmos considerando apenas um município da mesorregião Agreste.

5.3 Área de telhados

Devido à ausência de dados precisos sobre áreas de telhados no município de Caruaru, foram adotados os valores propostos por Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006). Através da aplicação da Equação 3.4, foi obtido uma área de telhados por domicílios de 81,29 m² para o município. A área total de telhados foi calculada através da Equação 3.3 considerando o número de domicílios abastecidos pelo sistema público igual a 93.983, e a área média de telhados por domicílios, 81,29 m². O valor encontrado para a área total de telhados em Caruaru foi de 7,6 milhões de m².

5.4 Demanda de água no sistema público de abastecimento

A demanda de água do sistema público de abastecimento para o município de Caruaru foi de 101,4 L/hab/dia. Valor obtido a partir do Sistema Nacional de Informações sobre saneamento (SNSA, 2010). Esse valor é diferente da média encontrada por Farias (2012) que foi de 80,7 L/hab/dia para a mesorregião agreste. Isso se deve a baixa disponibilidade hídrica na maioria dos municípios do agreste comparadas com o município de Caruaru. Com esse valor de demanda diária foi estimado uma demanda mensal 934.875,4 m³, considerando-se uma população de 307.322 habitantes e um mês comercial igual a 30 dias.

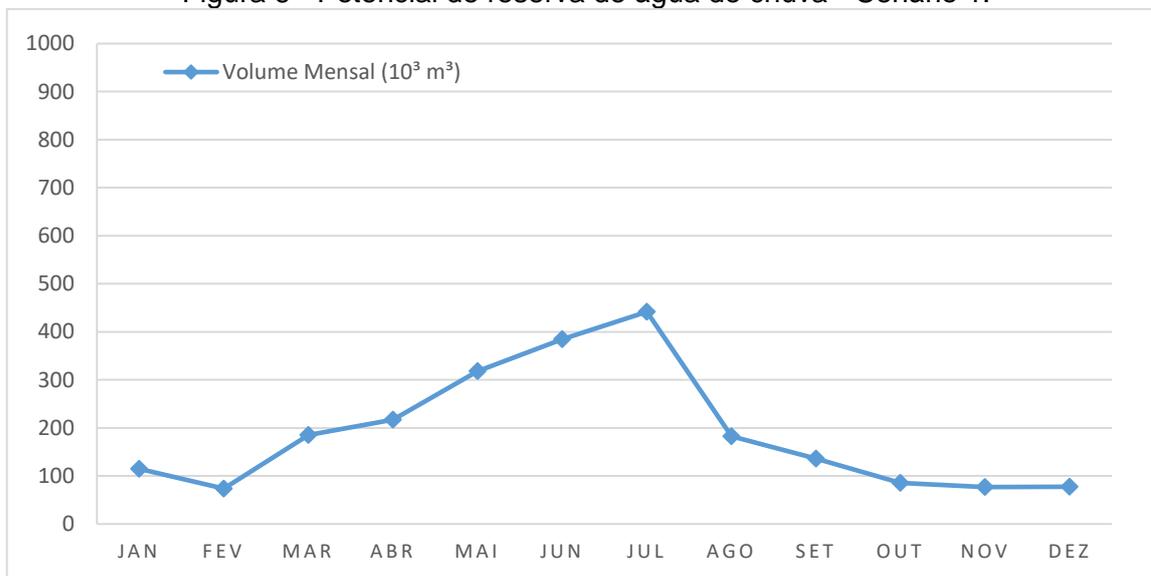
5.5 Volume aproveitável de água de chuva captada por telhados

O volume mensal de água de chuva que pode ser aproveitado no município de Caruaru foi calculado conforme descrito na metodologia. Os resultados obtidos para os três cenários considerados nesse estudo são apresentados a seguir.

5.5.1 Cenário 1 - Período de 2011 à 2015

Com relação aos valores de precipitação mensal observados no período, o menor valor ocorreu em novembro e foi de 12,58 mm, enquanto que o maior valor foi de 72,25 mm em julho. Foi estimado para o mês de novembro um volume de água com potencial de ser coletado de 76.887,8 m³ (menor valor no período), e para o mês de julho um volume de água de 441.585,3 m³ (maior valor no período). Para esse período foi ainda encontrado uma média mensal de 191.045,5 m³ para o potencial de reserva de água de chuva, e um total de 2.292.545,8 m³ no ano. Na Figura 6 são apresentados os valores dos potenciais de reserva de água de chuva para cada mês do ano.

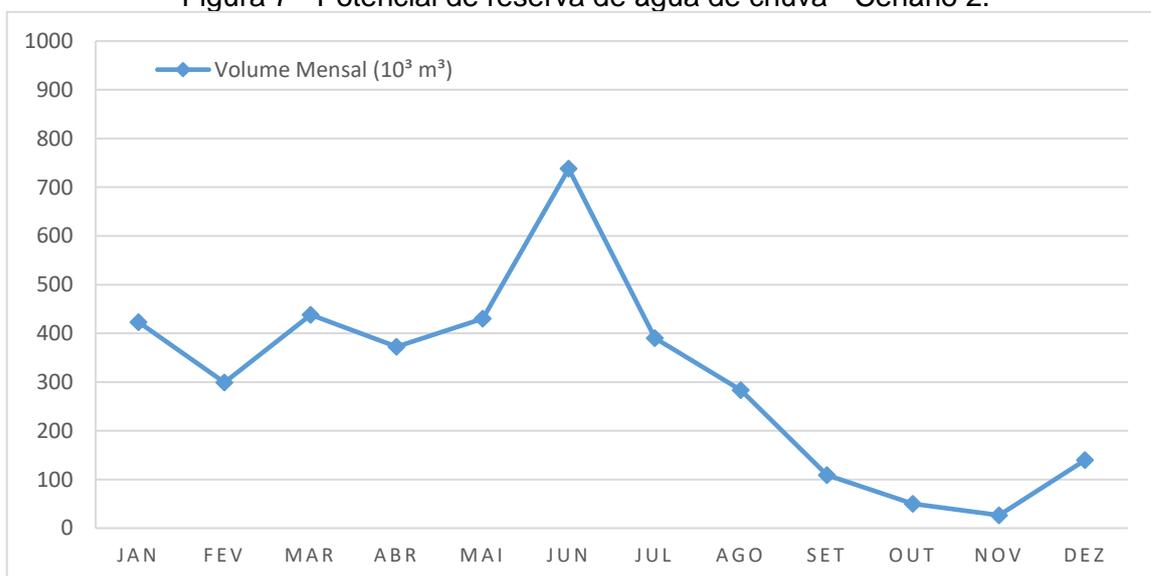
Figura 6 - Potencial de reserva de água de chuva - Cenário 1.



5.5.2 Cenário 2 - Período de 2001 até 2010

Para este cenário foi encontrado para o mês de junho o maior valor de precipitação média mensal, um total de 120 mm, enquanto que para o mês de novembro foi encontrado o menor valor de precipitação, um total de 4,35 mm. Esses meses apresentaram, respectivamente, um potencial de reserva de água de chuva de 738.012,8 m³ e 26.586,8 m³. Foi encontrado uma média mensal de 308.335,5 m³ e um total anual de 3.700.026,4 m³. Na Figura 7 são mostrados os valores do potencial de reserva encontrados para todos os meses considerando esse período.

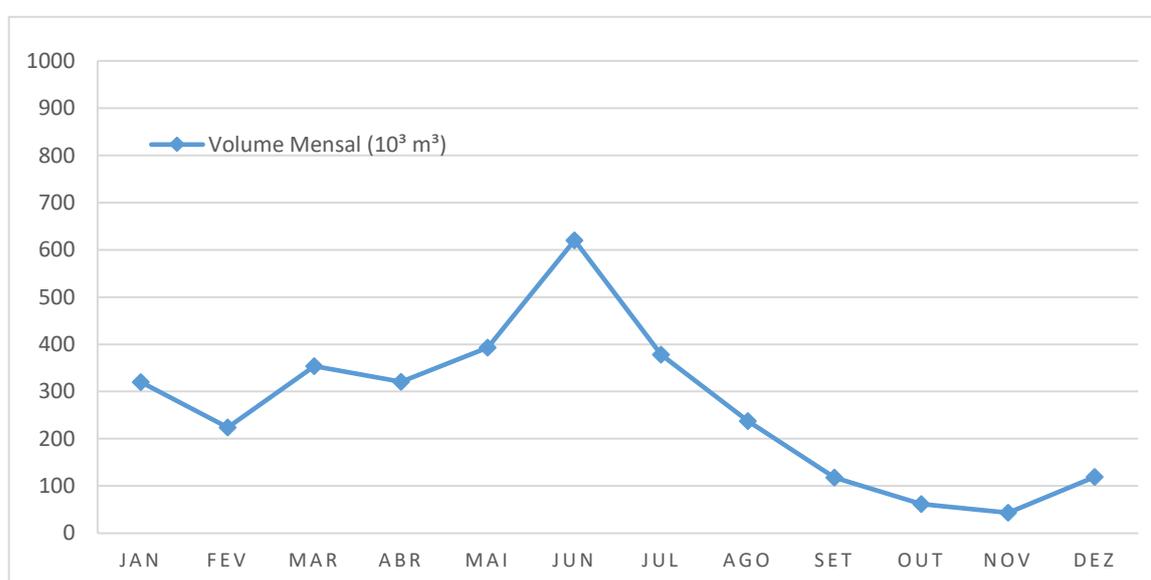
Figura 7 - Potencial de reserva de água de chuva - Cenário 2.



5.5.3 Cenário 3 - Período de 2001 até 2015

Neste cenário o maior valor de precipitação mensal ocorreu no mês de junho, com 101,5 mm, enquanto que no mês de novembro foi encontrado o menor valor no período, 7,1 mm. Para esses meses foi encontrado, respectivamente, um potencial de reserva de água de chuva de 620.195,6 m³ e 43.353,8 m³. Foi encontrado ainda uma média mensal de 265.772,9 m³ e um total anual de 3.189.274,7 m³. Na Figura 8 são apresentados os valores de potencial de reserva de água encontrados considerando o período do cenário 3.

Figura 8 - Potencial de reserva de água de chuva - Cenário 3.



O maior volume aproveitável dentre os meses considerando os 3 Cenários, foi de 738.012,8 m³, valor encontrado para o mês de junho no Cenário 2, que considera dados de precipitação de 2001 até 2010. Esse maior volume encontrado no Cenário 2 já era esperado, uma vez que a disponibilidade de chuvas no período é maior que nos outros casos, com exceção do mês de novembro. O menor volume aproveitável foi de 26.586,8 m³ encontrado para o mês de novembro também no Cenário 2. O mês de novembro se mostrou uma exceção na disponibilidade de chuvas para o Cenário 2, uma vez que todos os outros meses tem valores de precipitação maiores que os outros dois cenários.

5.6 Armazenamento para utilização durante estiagem

Ao considerarmos o consumo *per capita* de 101,4 L/hab/dia para uma família de 5 pessoas, temos que é necessário 0,507 m³ para abastecer essa família

diariamente. Os reservatórios considerados, 93.983 de 16 m³ totalizando 1.503.729 m³, poderiam ser todos cheiros durante o período chuvoso da região, de abril a julho, quando o sistema de abastecimento consegue manter o fornecimento a todos os domicílios. Esse volume sendo utilizado no período de estiagem, considerando o abastecimento de uma residência de 5 pessoas, conseguiria abastecer o domicílio por 31 dias. Esse resultado não leva em conta o fato de que durante períodos de estiagem, os residentes tendem a diminuir o consumo *per capita*, o que prolongaria a duração da água do reservatório.

5.7 Potencial de economia de água do sistema público de abastecimento

Os dados de volume aproveitável mensal obtidos nos itens 5.4.1, 5.4.2 e 5.4.3 foram comparados com a demanda mensal para o município de Caruaru, a fim de se determinar um potencial de economia do sistema público de abastecimento (%).

Ao considerar o Cenário 1 (período de 2011 até 2015), observa-se o maior potencial de economia de água do sistema de abastecimento no mês de junho, com um valor igual a 47,23%. Enquanto, o menor valor obtido foi de 8,22% para o mês de novembro. Ainda foi estimada uma média anual de 20,44%, valor diferente do encontrado por Farias (2012) que foi de 31%. Tal diferença se deve ao fato das pesquisas considerarem séries históricas diferentes, já que Farias (2012) considerou a série histórica de 1986 até 2005.

No Cenário 2 (período de 2001 até 2010) foram obtidos o maior e o menor valor de potencial de economia de água dessa pesquisa. Foram eles, 78,94% para o mês de junho, maior valor, 2,84% para o mês de novembro, menor valor. A média mensal estimada para esses dados foi de 32,98% que é muito próxima da encontrada por Farias (2012), 31%. Dessa vez, os valores estão mais próximos, uma vez que, a disponibilidade de chuvas nos dois períodos considerados é bem próxima.

Considerando o Cenário 3 (período de 2001 até 2015), verificou-se que maior valor de potencial de economia de água foi de 66,34% no mês de junho, e o menor valor foi de 4,64% no mês de novembro. Foi ainda estimada uma média mensal de 28,43%.

Nas Figura 9, 10 e 11 são apresentados os valores do potencial de economia do sistema público de abastecimento para todos os meses considerando respectivamente os Cenários 1, 2 e 3.

Figura 9 - Potencial de economia de água do sistema público - Cenário 1.

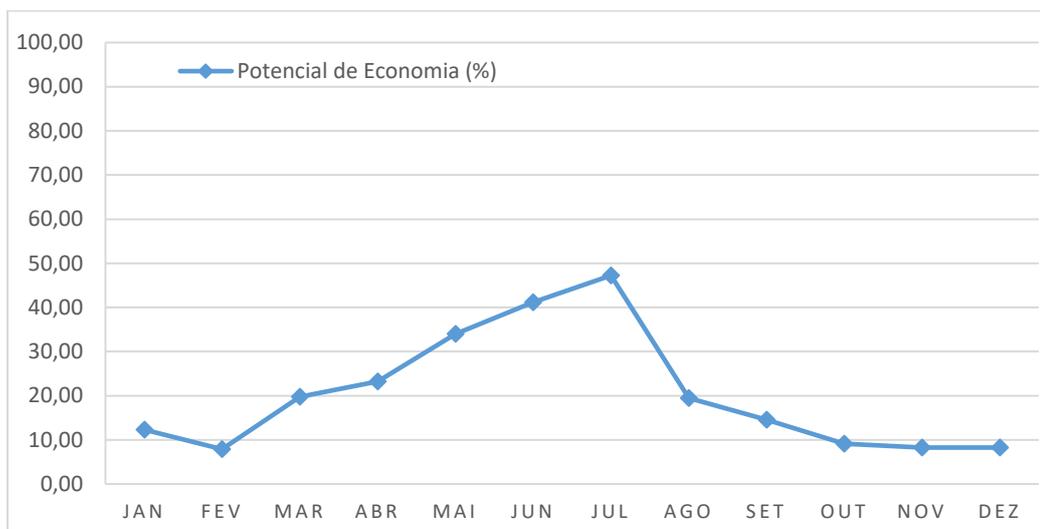


Figura 10 - Potencial de economia de água do sistema público - Cenário 2.

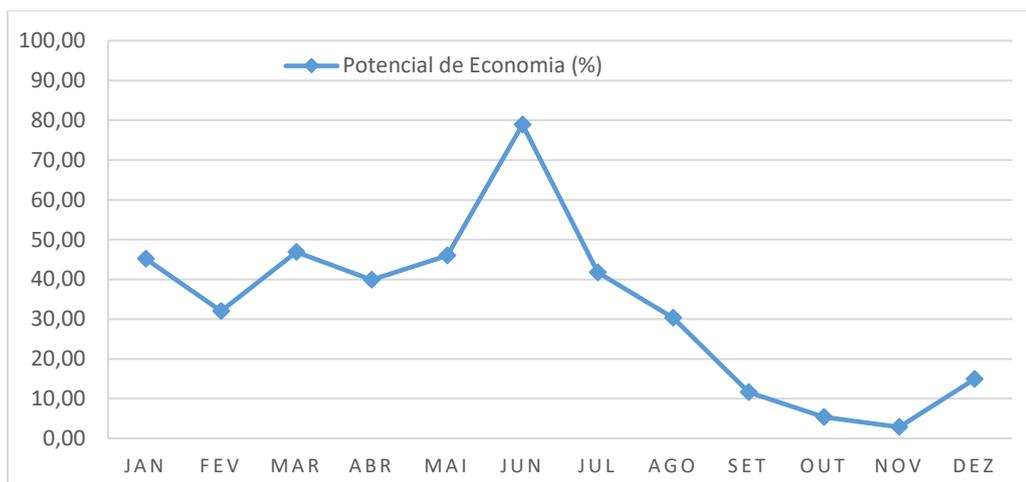
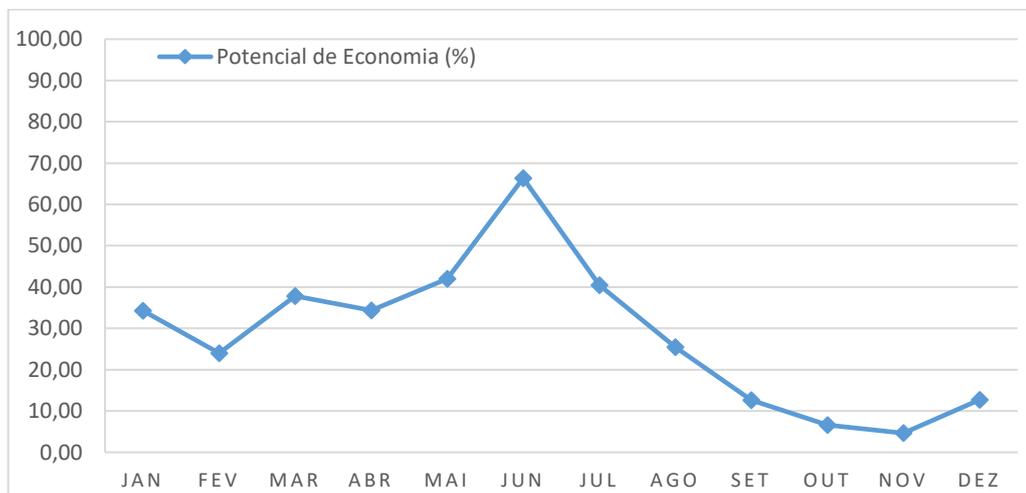


Figura 11 - Potencial de economia de água do sistema público - Cenário 3.



5.8 Estudo considerando uso parcial da superfície de captação com telhados verdes

A partir dos valores de áreas de telhados estabelecidos por Ghisi, Montibeller & Schmidt (2006), e com base nas áreas mínimas estabelecidas por cômodos pelo Código de Obras do município de Caruaru (1977) foi estabelecido o novo valor de área de telhados para residências como sendo de 69 m². Através da aplicação da Equação 3.4, foi obtido uma área de telhados por domicílios de 66,14 m² para o município. A área total de telhados foi calculada através da Equação 3.3 considerando o número de habitantes por domicílio e a área média de telhados por domicílios. O valor encontrado foi de 6,2 milhões de m² para a nova área de telhados convencionais. Valor 18,42% inferior aos 7,6 milhões de m² encontrados ao considerarmos a área total de telhados da residência para a captação. No Quadro 1 são apresentados os volumes que podem ser captados agora considerando que parte dos telhados são telhados verdes, e no Quadro 2 são apresentados esses números em termos percentuais com relação a demanda por água potável no município.

Tabela 6 - Captação de água de chuva.
(uso parcial dos telhados como telhados verdes).

Meses	Volume (10 ³ m ³)		
	2011 até 2015	2001 até 2010	2001 até 2015
Janeiro	93,39	343,96	260,44
Fevereiro	59,97	243,46	182,30
Março	150,47	356,64	287,92
Abril	176,63	303,23	261,03
Maio	258,68	350,03	319,58
Junho	312,88	600,45	504,59
Julho	359,28	317,36	307,38
Agosto	148,31	230,73	193,37
Setembro	110,79	88,46	95,91
Outubro	69,32	40,73	50,26
Novembro	62,56	21,63	35,27
Dezembro	62,95	113,68	96,77
Total	1865,23	3010,36	2594,81

Tabela 7 - Potencial de economia de água.
(uso parcial dos telhados como telhados verdes).

Meses	Potencial de Economia de Água (%)		
	2011 até 2015	2001 até 2010	2001 até 2015
Janeiro	9,99	36,79	27,86
Fevereiro	6,41	26,04	19,50
Março	16,10	38,15	30,80
Abril	18,89	32,44	27,92
Maio	27,67	37,44	34,18
Junho	33,47	64,23	53,97
Julho	38,43	33,95	32,88
Agosto	15,86	24,68	20,68
Setembro	11,85	9,46	10,26
Outubro	7,41	4,36	5,38
Novembro	6,69	2,31	3,77
Dezembro	6,73	12,16	10,35
Média	16,63	26,83	23,13

5.9 Com e sem uso parcial da superfície de captação com telhados verdes

O potencial de economia de água do sistema público de abastecimento, como já esperado, diminuiu ao considerarmos parte dos telhados como telhados verdes. Considerando o cenário com o período da série histórica entre 2011 e 2015, obtivemos uma média mensal para o potencial de economia de 16,63% contra 20,44%, para as situações com e sem telhados verdes, respectivamente. Para o cenário de chuvas de 2001 até 2010, obtivemos uma média de 26,83% contra 32,98% para as situações com e sem telhados verdes, respectivamente. Por fim para o cenário de chuvas de 2001 até 2015, obtivemos uma média mensal de 23,13% contra 28,43%. Os valores encontrados para os potenciais de economia em cada mês para a situação com e sem telhados verdes são apresentados nas Figura 12, 13 e 14.

Figura 12 - Potenciais de economia de água - Cenário 1.

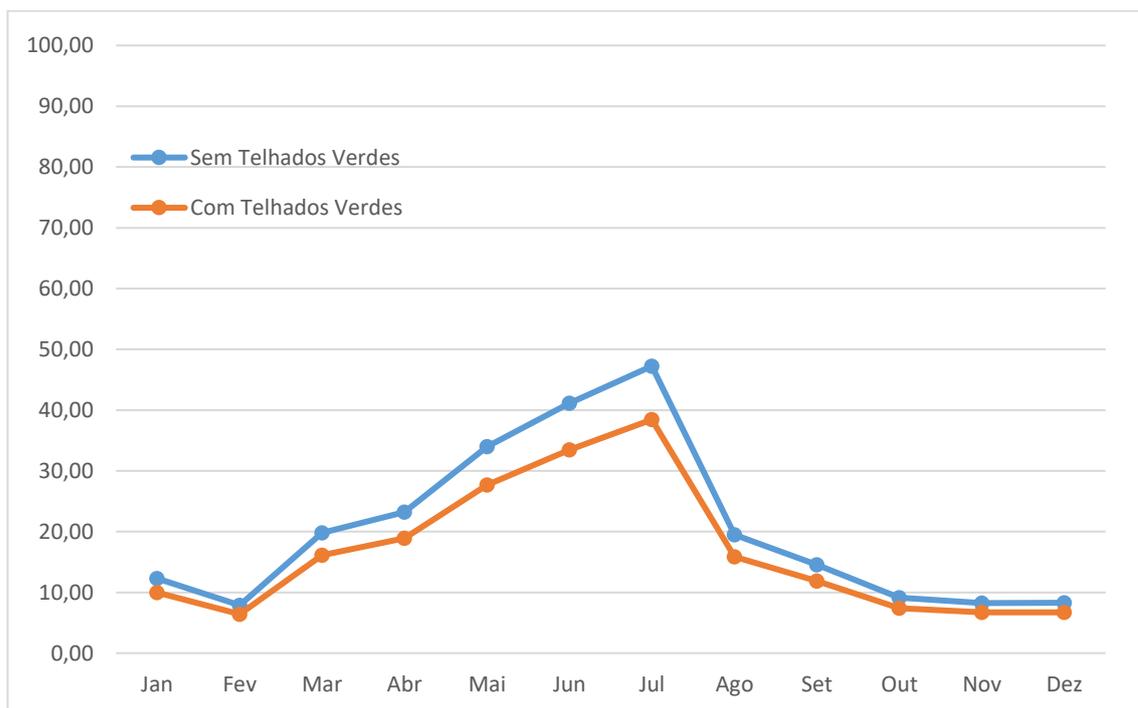


Figura 13 - Potenciais de economia de água - Cenário 2.

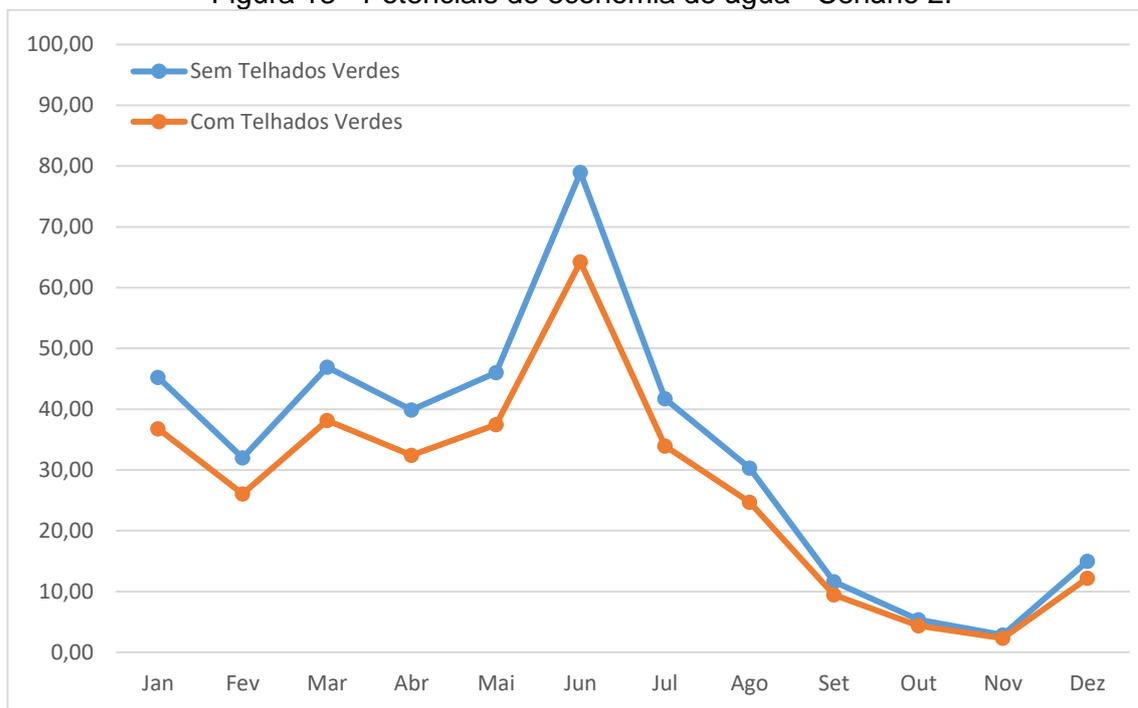
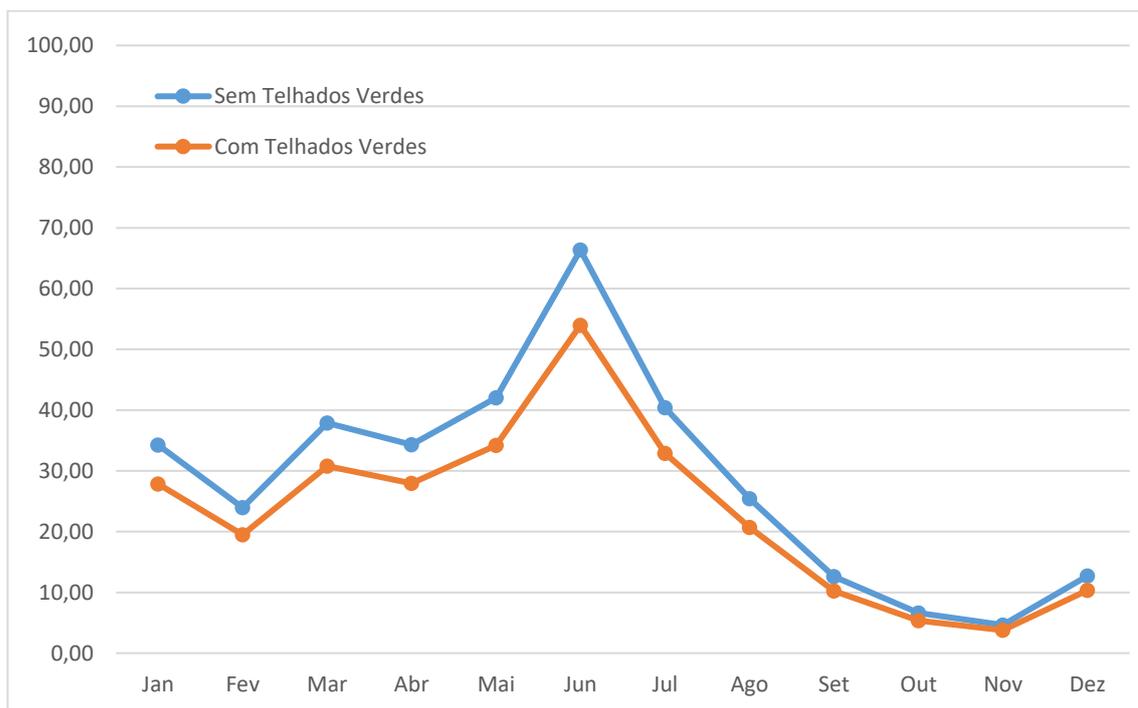


Figura 14 - Potenciais de economia de água - Cenário 3.



Como já esperado, ao se considerar telhados verdes em uso parcial nas residências, o potencial de economia de água de chuva apresentou uma queda em comparação com os resultados obtidos sem o uso de telhados verdes. Mensalmente foi observada uma queda média de 18,64% no volume total aproveitável, um valor relativamente baixo, tendo em vista os ganhos com desempenho térmico da edificação devido aos telhados verdes, principalmente no clima do semiárido.

6 CONCLUSÕES

Os dados de precipitação dos últimos 15 anos obtidos a partir da ANA, possibilitaram o estudo do potencial de economia de água de chuva para o município de Caruaru. O trabalho adquiriu resultados positivos quanto ao potencial de reserva de água de chuva, que demonstram uma boa alternativa à crescente demanda por água no planeta.

A estimativa de chuvas considerando o período da série 2001 e 2010, com as chuvas dentro das médias históricas, mostram um cenário promissor para a captação de água de chuva. O volume com possibilidade de ser captado variou de pouco mais de 26 mil m³ até 738 mil m³ de água de chuva por mês, o que representa 2,84% e 78,9%, respectivamente, do volume de água necessário para abastecer a cidade por um mês. Ao analisarmos o ano como todo, encontramos uma média de captação de 308 mil m³ por mês que representa uma média mensal de 32,98% em relação à demanda por água do município.

Já a estimativa considerando o período de 2011 até 2015, que se mostrou um período de chuvas atípicos, onde as precipitações estão abaixo da média histórica, apresentou resultados menores que o anterior. Como já esperado foi encontrado um potencial de economia de água menor do que no cenário anterior, mas ainda assim bastante promissor, podendo chegar até 47,23% de economia de água.

Os resultados mostram que mesmo ao considerarmos o período de chuvas mais crítico dos últimos anos como referência, os resultados obtidos para captação de água de chuva são bastante positivos, uma vez que pode se captar pouco mais de 20% do volume necessário para abastecer a cidade em um ano. Isso sem dúvidas diminuiria a pressão sobre o sistema público de abastecimento.

Os resultados apontam ainda que os reservatórios fornecidos pelo Governo Federal no semiárido, poderiam ser todos abastecidos no período chuvoso, e que cada reservatório tem o potencial de abastecer uma família de 5 pessoas por 31 dias durante o período de estiagem.

A utilização de telhados verdes em parte dos telhados das edificações também se mostrou uma opção. Como mostrado, a utilização de telhados verdes em alguns cômodos, como quartos, propicia benefícios térmicos, que justificariam a diminuição da área de telhados disponíveis para captação de água, em torno de 18,64%.

A pesquisa atenta para a crescente demanda por água potável no planeta, e oferece como alternativa viável à captação de água de chuva. Mesmo apresentando meses com praticamente zero de precipitação, tal alternativa ainda seria viável através do armazenamento de água durante os meses mais chuvosos para utilização durante os meses mais secos, quando o sistema de abastecimento não teria água suficiente para atender a demanda.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil_2013_Final.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2016.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Hidroweb**. Disponível em <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em 10 mar 2016.

AKTER, A.; AHMED, S.. Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh. **Journal of Hydrology**, v. 528, [S.l.], Elsevier, p. 84-93, 2015.

ARAÚJO, J. C.. Recursos hídricos em regiões semiáridas. In: GHEYI, H. R., PAZ, V. P. S., MEDEIROS, S. S., GALVÃO, C. O. (Ed.). **Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas: Estudos e Aplicações**. 1. ed. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2012. p. 30-43.

CARUARU. **Lei nº 2454**. Código de Urbanismo, obras e posturas. Janeiro de 1977.

CHENG, C. -L.. Evaluating water conservation measures for Green Building in Taiwan. **Building and Environment**, v. 38, Pergamon, p. 369-379, 2003.

CONDEPE/FIDEM - Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. **Perfil Municipal**. Disponível em <<http://www.condepefidem.pe.gov.br>>. Acesso em 4 jan 2016.

FARIAS, M. M. M. W. E. C.. **Aproveitamento de águas de chuva por telhados: aspectos quantitativos e qualitativos**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, 115 p., Caruaru - PE, 2012.

FERNANDES, L. F. S.; TERÊNCIO, D. P. S.; PACHECO, F. A. L.. Rainwater harvesting systems for low demanding applications. **Science of the Total Environment**, v. 529, [S.l.], Elsevier, p. 91-100, 2015.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A.. **Hidrologia**. 2ª Edição. São Paulo: Edgar Blucher, 1988.

GHISI, E.. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**, v. 41, Elsevier, 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, Elsevier, p. 204-210, 2006.

GHISI, E.; TAVARES, D. F.; ROCHA, V. L.. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, Elsevier, p.79-85, 2009.

GHISI, E.; CARDOSO, K. A.; RUPP, R. F.. Short-term versus long-term rainfall time series in the assessment of potable water savings by using rainwater in houses. **Journal of Environmental Management**, v. 100, Elsevier, p. 109-119, 2012.

HE, Y.; YU, H.; DONG, N.; YE, H.. Thermal and energy performance assessment of extensive green roof in summer: A case study of a lightweight building in Shanghai. **Energy and Buildings**, v. 127, Elsevier, p. 762-773, 2016.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U.. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, v. 1, Elsevier, p. 307-316, 1999.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Senso Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 29 mai 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Rio de Janeiro, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas especiais - Semiárido**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiárido.shtm?c=4>>. Acesso em: 02 dez 2016.

IGRA - International Green Roof Association. **Tipos de Telhados Verdes**. Disponível em: <http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php>. Site Traduzido. Acesso em: 27 de nov. 2016.

JIM, C. Y.; PENG, L. L. H.. Weather effect on thermal and energy performance of an extensive tropical green roof. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 11, Elsevier, p. 73-85, 2012.

LIMA, G. C. O.. **Avaliação do Desempenho de Telhados Verdes: Capacidade de Retenção Hídrica e Qualidade da Água Escoada**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru - PE, 128 p., 2013.

LIN, B. S.; YU, C. C.; SU, A. T.; LIN, Y. J.. Impact of climatic conditions on the thermal effectiveness of an extensive green roof. **Building and Environment**, v. 67, Elsevier, p. 26-33, 2013.

LIU, K.; MINOR, J.. Performance evaluation of an extensive green roof. **Greening Rooftops for Sustainable Communities**, Washington, D.C, 2005, pp. 1e11.

MATTOS, C. S.. **Desempenho Térmico de um Telhado Verde inserido em Região Semiárida**. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru - PE, 67 p., 2015.

MINIKOWSKI, M.; MAIA, A. G.. Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva no Município de Irati (PR). *Rev. Acad. Ciênc. Agrár. Ambient.*, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 181-188, 2009.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Programa água para todos**. Cisternas, barreiros e sistemas coletivos. Disponível em: < <http://www.mi.gov.br/cisternas-barreiros-e-sistemas-coletivos>>. Acesso em: 20 dez 2016.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.. Olhares sobre as políticas públicas de Recursos Hídricos para o semiárido. In: GHEYI, H. R., PAZ, V. P. S., MEDEIROS, S. S., GALVÃO, C. O. (Ed.). **Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas: Estudos e Aplicações**. 1. ed. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2012. p. 2-27.

OHNUMA JÚNIOR, A. A., ALMEIDA NETO, P., MEDIONDO, E. M.. Análise da Retenção Hídrica em Telhados Verdes a Partir da Eficiência do Coeficiente de Escoamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 19 (2), p. 41-52, 2014.

ORAZIO, M. D.; PERNA, C. D.; GIUSEPPE, E. D.. Green roof yearly performance: A case study in a highly insulated building under temperate climate. **Energy and Buildings**, v.55, Elsevier, p. 439-451, 2012.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S.. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgar Blucher, 1976.

RAMALHO, M. F. J. L.. A fragilidade ambiental do Nordeste brasileiro: o clima semiárido e as imprevisões das grandes estiagens. **Sociedade e Território**, Natal, v. 25, nº 2, EDIÇÃO ESPECIAL, p.104-115, 2013.

SILVA, N. C.. **Telhado Verde: Sistema Construtivo de Maior Eficiência e Menor Impacto Ambiental**. Belo Horizonte: UFMG, 2011. p. 24-30. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. Disponível em <www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg2/73.pdf>. Acesso em: 7 de nov. 2014.

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 15 jan 2016.

SOUZA, I. A.; AZEVEDO, J. R. G.; MACIEL NETTO, A.; ANTONINO, A. C. D.. **Implicações do Aquecimento Global no Balanço Hídrico Climático no Agreste de Pernambuco**. CBMET, Edição XIV. Florianópolis, 2006.

SQUIER, M.; DAVIDSON, C. I.. Heat flux and seasonal thermal performance of an extensive green roof. **Building and Environment**, v. 107, Elsevier, p. 235-244, 2016.

SUASSUNA, J.. Semiárido: Proposta de convivência com a seca. Recife, 7 fev. 2002. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=%20article&id=659&Itemid=376>. Acesso em: 02 dez. 2016.

THEODOSIOU, T. G.. Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. **Energy and Buildings**, v. 35, Elsevier, p. 909-917, 2003.

TOMAZ, P.. **Capítulo 51 - Cobertura Verde**. In: Curso de Manejo de águas pluviais. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo51_telhado_verde.pdf (acessado em 07/11/16).

UN - United Nations (Nações Unidas). **World Population Prospects The 2000 Revision**. Department of Economic and Social Affairs, United Nations: New York. 2001.

UN - United Nations (Nações Unidas). **World Population Prospects The 2010 Revision**, v. 1. Department of Economic and Social Affairs, New York: United Nations. 2011.

VILLARREAL, E. L.; DIXON, A.. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. **Building and Environment**, v. 40, Elsevier, p. 1174-1184, 2005.

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, Pergamon, p. 261-270, 2003.

ZHAO, W.; LIU, B.; CHANG, X.; YANG, Q.; YANG, Y.; LIU, Z.; CLEVERLY, J.; EAMUS, D.. Evapotranspiration partitioning, stomatal conductance, and components of the water balance: A special case of a desert ecosystem in China. **Journal of Hydrology**, v. 538, Elsevier, p. 374-386, 2016.