



APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA - ESTUDO DA VIABILIDADE EM DIFERENTES CAPITAIS BRASILEIRAS

Karla Alcione da Silva Cruvinel⁽¹⁾

Engenheira Ambiental, Doutora em Ciências Ambientais, Docente da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás.

Cecília de Sousa Zardini

Engenheira Ambiental e Sanitarista, graduada na Universidade Federal de Goiás.

Saulo Bruno Silveira e Souza

Engenheiro Civil, Doutor em Ciências Ambientais, Docente da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás.

Humberto Carlos Ruggeri Júnior

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo, Docente da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás.

Giovana Carla Elias Fleury

Engenheira Civil, Mestre em Engenharia do Meio Ambiente, Docente da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Universitária, Quadra 86, Lote Área, 1488 - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, 74605-220 - Brasil - Tel: +55 (62) 3209-6187 - e-mail: karlaalcione.ufg@gmail.com.

RESUMO

Devido à iminente escassez de água potável, a necessidade de substituição desse recurso em atividades que admitem a utilização de águas de qualidade inferior se torna cada vez mais necessária. O presente trabalho teve como objetivo principal analisar potenciais de economia de água potável através do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis a fim de verificar a viabilidade de instalação do sistema. O estudo foi realizado para nove capitais brasileiras considerando os diferentes regimes de precipitação, demanda de água potável e número de moradores por habitação. Para a determinação dos potenciais de economia foi utilizado o programa computacional Netuno 3.0, sendo determinados também os respectivos volumes ideais de reservatórios inferiores para água de chuva em cada capital. Os resultados obtidos mostraram potencial máximo de economia de água potável em Belém (43,73%) e mínimo em São Luís



(21,3%) e volume ideal de reservatório inferior máximo em Aracajú (21.500 litros) e mínimo em Belém (4.000 litros). Constatou-se que a maior parte das capitais estudadas apresenta potencial viabilidade para a utilização do sistema de aproveitamento de chuva com potenciais de economia acima de 35%.

Palavras-chave: economia de água potável, residências unifamiliares, Netuno.

INTRODUÇÃO/OBJETIVOS

A água potável disponível em diversas fontes naturais como, aquíferos, lençóis freáticos e rios é essencial para a sobrevivência dos seres vivos no planeta Terra, e é esse o principal motivo para que a população tenha que se preocupar com a escassez desse recurso fundamental.

Outro grande problema com relação à água no mundo é a contaminação, que faz com que a mesma se torne imprópria para o consumo direto. A água encontrada hoje em fontes acessíveis para consumo encontra-se, em sua maioria, contaminada por nutrientes e algas em excesso, esgotos urbanos e industriais, resíduos sólidos (urbanos, industriais, de construção civil) e produtos químicos (MAY, 2004).

Portanto, as fontes naturais de água potável estão cada vez mais escassas pois, a capacidade de purificação através do processo de reciclagem natural dos poluentes e do processo de filtração natural feito pelo solo e por rochas porosas é mais lento que o processo de contaminação, ou seja, os recursos hídricos recebem hoje, uma carga de poluentes numa frequência e quantidade muito maior do que a sua capacidade de se autodepurar.

Dentro desse contexto, cabe destacar as medidas de conservação de água. Elas vêm sendo adotadas no mundo todo para diminuir o impacto da depleção das fontes que fornecem água para o consumo da biosfera em geral. Um exemplo dessas medidas, que vem crescendo no mundo todo, é o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, que utiliza o recurso natural de uma fonte diferente das já existentes e auxilia na redução do consumo de água potável.

Para enfatizar a importância do aproveitamento da água de chuva Tomaz (2003) e Amorim e Pereira (2008) citam que esta prática, além de promover a economia de água potável, contribui na prevenção de enchentes causadas por precipitações em grandes centros urbanos, onde a superfície é impermeável impedindo a infiltração da água no solo, sendo considerada como medida não-estrutural no sistema de drenagem urbana.

Assim sendo, objetivou-se neste trabalho estudar, para diferentes capitais brasileiras o potencial de economia de água potável de cada uma dessas capitais, quando da utilização de um sistema de aproveitamento de água de chuva em atividades que permitem a substituição de água potável por água pluvial.

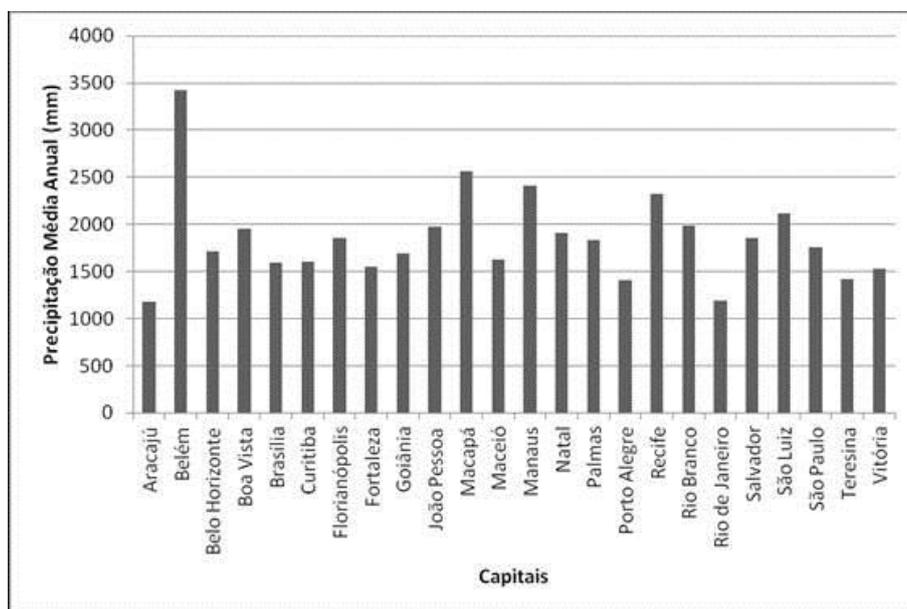


MATERIAL E MÉTODOS

Para a escolha das diferentes capitais foram obtidos dados de precipitações médias mensais no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Buscou-se dados em um intervalo de dez anos (de 01/01/2004 a 31/12/2013) de todas as capitais do país. Através dessas informações fez-se as médias mensais para o período de dez anos e também a soma dessas médias para a obtenção dos volumes médios de precipitação acumulados durante o período de um ano. Procurou-se escolher capitais com comportamentos distintos de pluviometria principalmente nos casos em que os valores médios de chuva acumulada são próximos.

Construiu-se então um gráfico com médias de volume acumulado em um ano (Figura 1). Para facilitar e agilizar o processo do trabalho, na construção do gráfico, fez-se a exclusão de capitais que apresentavam a falta de algum, ou nenhum dado de precipitação. Após a elaboração do gráfico fez-se a análise e optou-se primeiramente por escolher as capitais com maior e menor volume de precipitação acumulada.

Figura 1 – Valores Médios de Precipitações acumuladas no período de um ano.



Fonte: INMET (2014).

Posteriormente, as capitais foram agrupadas em seis gráficos distintos, de acordo com o comportamento de seus regimes pluviométricos durante o ano. As outras sete capitais foram escolhidas de forma aleatória dentro dos grupos de gráficos, sendo excluídas da seleção as capitais que apresentavam a falta de algum dado crucial para a realização deste estudo. Nas referências utilizadas para a obtenção dos dados necessários ao desenvolvimento da metodologia



escolhida neste trabalho, Manaus e Rio Branco apresentaram-se com a falta de algum dado em algumas delas. Portanto estas duas capitais não fazem parte de nenhum dos grupos de gráficos que seguem.

Para a realização da simulação foi utilizado o programa Netuno 3.0. Optou-se por realizar o estudo da viabilidade da implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais em residência unifamiliar de padrão normal. Segundo a NBR nº 12.721 (ABNT, 2006) esse tipo de residência possui área aproximada de 100m².

Os dados de demanda de água na residência foram obtidos através do banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, o SNIS (2014), adquirindo-se assim os valores médios diários de consumo *per capita* de água para cada capital estudada. O número de moradores adotado foi o fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE do censo demográfico de 2010. Utilizou-se então, o número médio de moradores por domicílio, específico para cada capital estudada.

A porcentagem de água potável a ser substituída por pluvial foi determinada através de uma pesquisa sobre a porcentagem estimada de água potável que é requerida em diferentes usos nas residências brasileiras. Realizou-se então a separação das atividades que requerem obrigatoriamente água potável daquelas em que admitem a substituição por uma água com qualidade inferior, tendo como referência a distribuição do consumo de água em residências brasileiras apresentado por Tomaz (2003).

O coeficiente de aproveitamento da água adotado foi de 0,8, pois considerou-se um total de perdas de 20% (GHISI, 2011).

Decidiu-se por realizar o estudo considerando que o sistema será provido de um reservatório superior com volume igual à demanda diária de água pluvial. O cálculo da demanda diária foi realizado para cada um dos casos estudados, porém tomou-se o cuidado de utilizar reservatórios com volume comercial imediatamente superior ao calculado e optou-se por reservatórios fabricados em polietileno.

Para o reservatório inferior, o programa computacional ofereceu a opção de cálculo para volumes distintos de reservatórios analisando um intervalo de volumes. Determinou-se então, o volume máximo desejado do reservatório (25.000 litros), e escolheu-se um valor de intervalo para a simulação dos volumes (500 litros). Optou-se por reservatórios fabricados em fibra de vidro que segundo o catálogo analisado é resistente à exposição ao calor e ao sol.

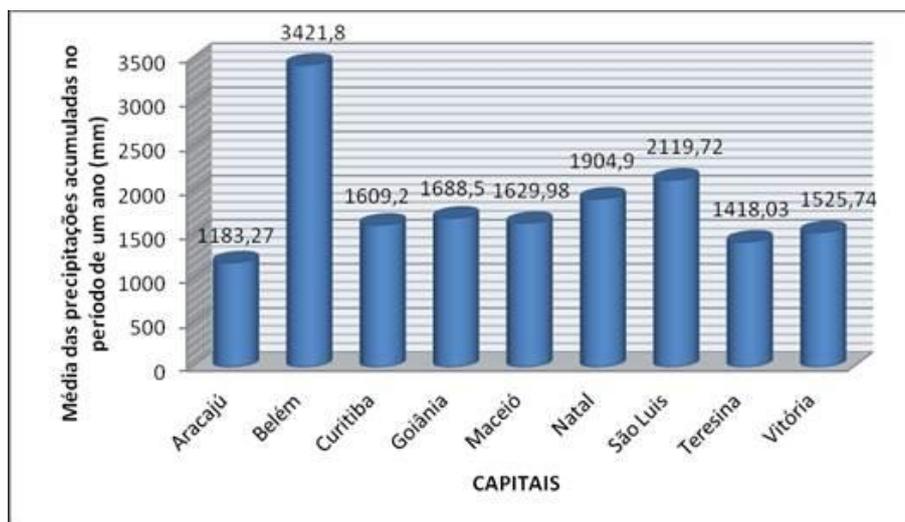
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram escolhidas como objetos de estudo nove capitais brasileiras, sendo elas: Aracajú, Belém, Curitiba, Goiânia, Maceió, Natal, São Luís, Teresina e Vitória. As precipitações acumuladas de cada uma dessas capitais estão apresentadas na Figura 2. Observou-se que a cidade de Belém



apresenta valor médio de precipitação acumulada bem superior às outras capitais, sendo a capital brasileira com maior volume médio acumulado. Já Aracaju apresenta apenas cerca de 35,6% do que chove anualmente em Belém, sendo a capital com índice pluviométrico anual mais baixo de todas as demais estudadas. Outra observação importante que pode ser destacada a respeito da Figura 2 é a semelhança entre as cidades de Curitiba, Maceió e Goiânia, apresentando todas, precipitações médias acumuladas bem próximas a 1.600mm por ano.

Figura 2 – Médias das Precipitações acumuladas no período de um ano.

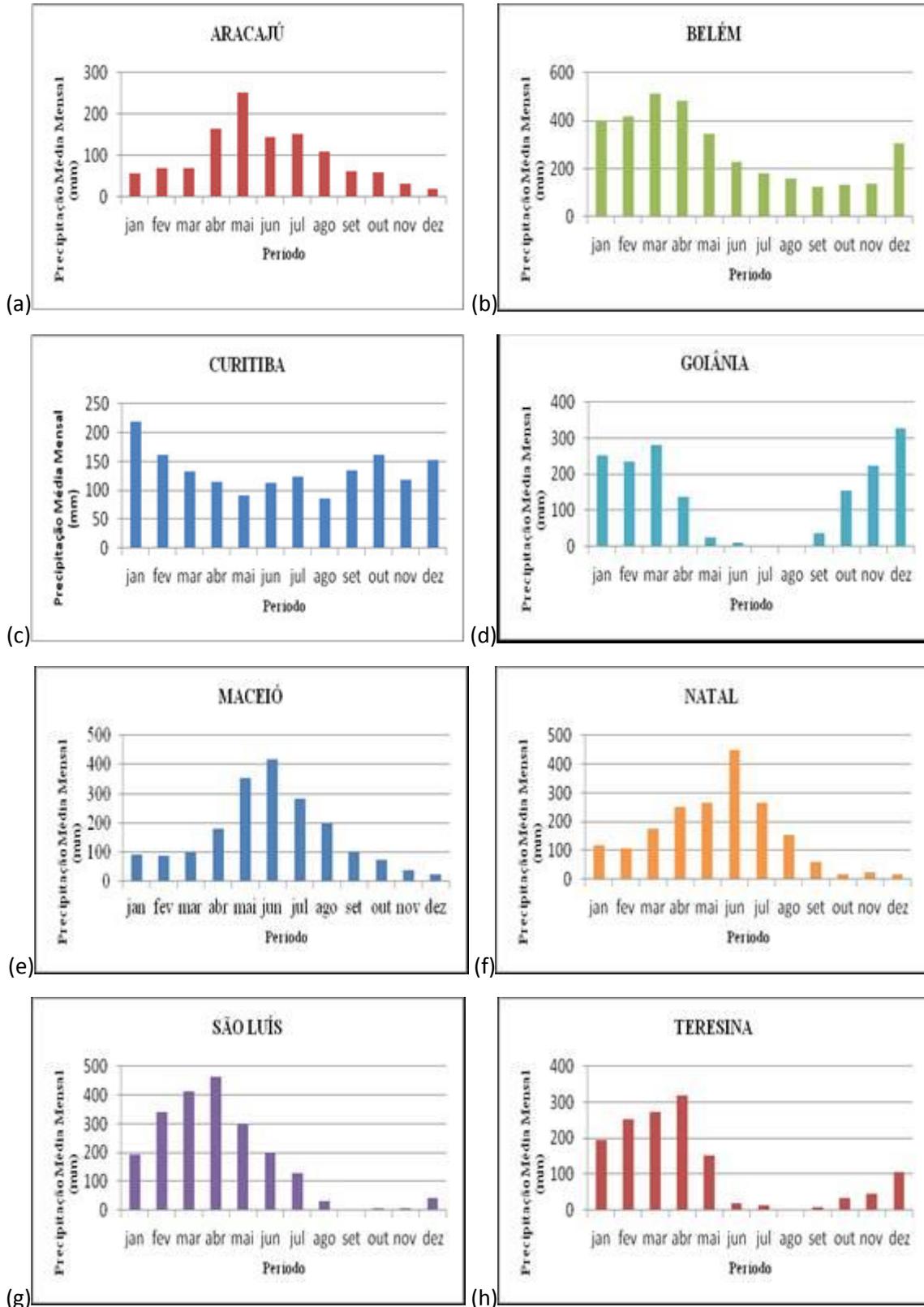


Fonte: INMET (2014).

Os regimes pluviométricos de cada capital estudada estão apresentados na Figura 3, onde pode ser observado o comportamento de cada um ao longo do ano. Observa-se que Aracaju, Curitiba e Vitória apresentam um regime quase constante, com alguns meses de pico, porém, na maior parte do ano, as precipitações apresentam valores entre 0 e 200mm, uma variação que pode ser considerada pequena quando comparadas às outras capitais. Algumas capitais apresentam grandes períodos de estiagem, como é o caso de Goiânia e São Luís, com praticamente cinco meses, e Teresina, com praticamente seis meses, essas com valores de precipitação muito baixos ou sem nenhuma precipitação. Mesmo Goiânia e São Luís apresentando semelhança na quantidade de meses de estiagem, há uma diferença de aproximadamente 430mm no valor de precipitações acumuladas entre elas. Já quando se compara Goiânia, Curitiba e Maceió, que possuem valores médios próximos, verifica-se a diferença no comportamento de seus regimes durante o ano.



Figura 3 – Regimes pluviométricos das capitais analisadas.





Fonte: INMET (2014).

Os consumos médios *per capita* obtidos no banco de dados do SNIS e utilizados como dados de entrada são apresentados na Tabela 1. Pode-se observar que São Luís apresenta maior consumo médio *per capita* com quase 400 litros por habitante por dia. Vitória está em segundo lugar, com 254,4 litros por habitante por dia. Maceió apresenta o menor valor de consumo *per capita* de todas as cidades analisadas, com 80,1 L/hab.dia.

Tabela 1 – Consumo médio de água potável em litros por habitante por dia.

Capitais	Aracajú	Belém	Curitiba	Goiânia	Maceió	Natal	São Luís	Teresina	Vitória
Consumo Per Capita (l/hab.dia)	173,2	141,3	167,2	170,8	80,1	129,9	398,6	150,4	254,4

Fonte: SNIS (2014).

Após realizar a separação das atividades que requerem obrigatoriamente água potável daquelas em que admitem a substituição por uma água com qualidade inferior, foi observado que aproximadamente 45% da água potável pode ser substituída por água de chuva. As atividades foram separadas em um grupo de consumo potável e um grupo de consumo não potável de acordo com o que sugere o trabalho de Pereira *et al.* (2008) e são apresentadas na Tabela 2 que segue.

Tabela 2 – Usos da água em residências brasileiras.

Consumo não-potável		Consumo potável	
Lavagem de Roupas	12%	Chuveiro	36%
Vaso Sanitário	27%	Lavagem de Louças	6%
Lavagem de Carros e Jardins	6%	Beber e Cozinhar	4%
-	-	Pequenos Trabalhos	9%
TOTAL	45%	TOTAL	55%

Fonte: Adaptado de PEREIRA et al. (2008).



Na determinação dos volumes dos reservatórios superiores obtidos, nota-se que São Luís apresenta o maior volume, devido ao seu alto valor de consumo de água *per capita* e ao número de moradores por habitação. Vitória também apresentou um volume mais elevado, de 500 litros, influenciado principalmente pelo alto consumo *per capita* de água. Cinco das nove capitais resultaram em volumes comerciais de reservatório de 250 litros. Maceió foi a capital que apresentou menor volume de reservatório superior, apenas 150 litros (Tabela 3).

Um volume ideal para o reservatório inferior foi indicado pelo Netuno bem como seus respectivos valores de potencial de economia, volume de água pluvial total consumido, volume anual extravasado e percentual de dias que a demanda diária de água pluvial é atendida totalmente, parcialmente ou não é atendida. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 3 - Volume dos reservatórios superiores por capital

Capitais	Reservatório Superior (demanda diária em litros)	Reservatório Superior (volume comercial em litros)
Aracajú	263,4	310
Belém	239,7	250
Curitiba	227,2	250
Goiânia	236,0	250
Maceió	122,2	150
Natal	199,9	250
São Luís	652,9	750
Teresina	246,4	250
Vitória	344,6	500

Nota-se que, principalmente, o regime das precipitações e o consumo médio de água potável *per capita*, influenciam significativamente os resultados obtidos. Pode-se observar a grande variação no volume ideal do reservatório inferior, nas diferentes capitais, sendo o menor volume indicado para a cidade de Belém (4.000 litros) e o maior volume indicado para a cidade de Teresina (23.500 litros). As características de cada uma que levaram a esse resultado são: Belém possui uma melhor distribuição de chuvas durante o ano, enquanto que Teresina possui longos períodos de estiagem; Teresina possui a média de precipitações acumuladas cerca de 60% menor que a de Belém; e um habitante em Teresina consome cerca de 10 litros a mais que um habitante em Belém. Outra observação a respeito das duas capitais é a respeito dos dias em que a demanda de água de chuva é atendida totalmente, sendo que o modelo retornou valor zero nas duas situações, indicando que em nenhum dia do ano o sistema conseguirá atender completamente a



demanda. A diferença entre as duas capitais novamente se faz presente quando avaliados os percentuais de atendimento parcial e de falha no atendimento, respectivamente, 99,12% e 0,88% para Belém e 79,02% e 20,98% para Teresina. Sendo que, mesmo com um volume muito superior ao indicado para Belém, o sistema consegue atender parcialmente Teresina, apenas 9,6 meses por ano, aproximadamente.

As capitais que apresentaram maior volume ideal para o reservatório inferior foram também, as que apresentaram menor percentual de economia de água, com exceção de São Luís que apresentou um volume ideal de 9.000 litros com um potencial de economia de 21,2%. Provavelmente os resultados de São Luís estão relacionados ao seu alto índice de moradores por habitação em conjunto com o alto valor médio de consumo de água por habitante por dia e o seu regime de precipitações irregular, com longos períodos de estiagem. Nota-se que o sistema consegue atender a demanda, totalmente, apenas durante, aproximadamente, 5,4 meses. Durante a metade do ano, seis meses, o sistema não supre, de forma alguma, a demanda de água de chuva. Sendo assim, a capital que apresentou, potencialmente, menor viabilidade para a instalação do sistema, quando se analisa a viabilidade, tendo como parâmetro o potencial de economia de água.

Maceió resultou no segundo menor reservatório ao passo que seu potencial de economia foi de 43,66%, o segundo maior. A capital apresentou também o melhor percentual de total atendimento à demanda de água pluvial, com 96,74%, ou seja, em aproximadamente 11,8 meses por ano o sistema consegue abastecer a demanda completamente. Pode-se associar esse resultado positivo da capital com a boa média de precipitações acumuladas, com a distribuição quase regular das precipitações e ao baixo consumo *per capita* de água, o menor de todos os analisados (80,10 L/hab.dia).



Tabela 4 - Resultados indicados para o volume ideal de cada uma das capitais.

Capitais	Volume (Litros)	Economia de Água Potável (%)	Volume de Água Pluvial Extravasado (Litros)	Volume Consumido de Água Pluvial (Litros)	Dias em que a Demanda de Água Pluvial é Atendida Totalmente (%)	Dias em que a Demanda de Água Pluvial é Atendida Parcialmente (%)	Dias em que a Demanda de Água Pluvial Não é Atendida (%)	Diferença entre potenciais de economia
Aracajú	21500	38,76	18007,87	73513,13	84,86	2,44	12,71	0,21
Belém	4000	43,73	181558,26	90212,28	0	99,12	0,88	0,23
Curitiba	8000	43,22	47802,84	79137,24	95,45	1,1	3,45	0,24
Goiânia	21000	37,69	61581,61	70481,35	83,27	0,96	15,77	0,27
Maceió	5500	43,66	122187,56	38296,33	96,74	0,41	2,85	0,25
Natal	16500	42,03	90150,99	59787,49	93,05	0,66	6,3	0,21
São Luís	9000	21,2	44952,31	123403,44	44,19	6,43	49,37	0,11
Teresina	23500	32,52	41213,87	71400,69	0	79,02	20,98	0,23
Vitória	19500	36,57	18974,33	101866,18	79,26	3,62	17,12	0,19



CONCLUSÃO

Analisando os resultados verifica-se que oito das nove capitais avaliadas apresentam potenciais de economia de água potável com valores acima de 70% do valor máximo de economia estabelecido nesse trabalho, que é de 45%. Constata-se que a maior parte das capitais analisadas possui potencial de viabilidade satisfatório quanto à implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva. Nota-se também a grande influência dos regimes de precipitação e das demandas de água potável na determinação dos resultados, pois as capitais que apresentaram menor potencial de economia, possuem grandes períodos de estiagem e/ou altos valores de consumo de água.

Apesar dos resultados positivos, uma análise considerando a viabilidade econômica seria relevante para a determinação da taxa mínima de atratividade, ou seja, a taxa de retorno mínima aceita pelo investidor quando da instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial. Assim, novos estudos para analisar o retorno financeiro, e o período necessário para que este retorno aconteça, levando em consideração os potenciais de economia de água potável, representaria significativo avanço neste tipo de estudo.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12721: Avaliação de Custos Unitários de Construção para Incorporação Imobiliária e outras Disposições para condomínios edifícios. Rio de Janeiro, 2006.
- AMORIM, S. V. de.; PEREIRA, D. J. de A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. Ambiente Construído - Revista on-line da ANTAC, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/5359>>. Acesso em: jun. 2013.
- GHISI, E.; CORDOVA, M. M.; ROCHA, V. L. Netuno 2.1. Programa computacional. 2009. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/>> . Acesso: abr. 2014.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Brasília, 2014.
- PEREIRA, L. R.; PASQUALETTO, A.; MINAMI, M. Y. M. Viabilidade econômico/ambiental da implantação de um sistema de captação e aproveitamento de água pluvial em edificação de 100m² de cobertura. Departamento de Engenharia, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2008. Disponível em: <



<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/VIABILIDADE%20ECONOMICO%20AMBIENTAL%20DA%20IMPLANTA%C3%87%C3%83O%20DE%20UM%20SISTEMA%20DE%20CAPTA%C3%87%C3%83O%20E%20APROVEITAMENTO%20DE%20%C3%81GUA.pdf>>. Acesso em: jun. 2014.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Tabela Resumo de Informações e Indicadores por Estado**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=103>>. Acesso em: jun. 2014.

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

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