

Viabilidade econômica e aceitação social do aproveitamento de águas pluviais em residências na cidade de João Pessoa

Economical viability and social acceptability of rainwater harvesting in households in the city of João Pessoa

Gilson Barbosa Athayde Júnior
Isabelly Cícera Souza Dias
Carmem Lúcia Moreira Gadelha

Resumo

Foi estudada a viabilidade econômica da utilização de um sistema de aproveitamento da água pluvial e feita uma pesquisa de opinião com a população de João Pessoa sobre a implantação de tal sistema para residências. Foram considerados três tipos padrão de residências, com níveis socioeconômicos distintos: um popular, um médio e um alto. Para o atual cenário de tarifas, há evidências de que o aproveitamento de águas pluviais no âmbito predial é uma alternativa economicamente inviável para residências de padrão popular e médio. Para o padrão alto, em virtude do valor mais elevado da tarifa e das quantidades maiores de águas pluviais utilizadas, a alternativa é economicamente viável, com valor presente líquido variando de R\$ 1.278,17 a R\$ 2.254,00, razão benefício/custo variando de 1,30 a 1,47, e período de retorno variando de 8,17 a 10,19 anos. Para a pesquisa de opinião com a população foram realizadas 800 entrevistas. Os resultados indicam que 66,1% da população têm conhecimento sobre a utilização da água pluvial, dos quais 54,37% a utilizam, mesmo que eventualmente. Incluindo o percentual de entrevistados que utilizariam águas pluviais em residências caso tivessem conhecimento da opção, a parcela de utilização aumentaria para dois terços entre a população pessoense, o que demonstra um alto nível de aceitação da opção.

Palavras-chave: Água pluvial. Viabilidade econômica. Aceitação social. Sistemas prediais hidráulicos e sanitários.

Abstract

The economic feasibility and social acceptability of rainwater harvesting in households in the city of João Pessoa, state of Paraíba, northeastern Brazil, were studied. Three social-economical household standards (low, middle, and high-class) were considered. Based on the existing water tax scenario, rainwater harvesting is unfeasible for low- and middle-class households. However, for the high socio-economical standard, it is economically feasible, with a current net present value varying between R\$1.278.17 and R\$ 2.254.00; a benefit/cost ratio of 1.30 to 1.47, and a payback period of 8.17 to 10.19 years. In order to learn about population acceptability, 800 interviews were applied. Results indicated that 66.1% of population of João Pessoa are aware of rainwater use in households, out of which, 54.37% effectively use it, despite infrequently. Including those who would use rainwater in their households, if they knew that this alternative was available, the potential use of rainwater would increase to almost two thirds of the population.

Keywords: Rainwater. Economic feasibility. Social acceptability. Hydraulic building systems

Gilson Barbosa Athayde Júnior

Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal da Paraíba
Campus Universitario
Castelo Branco
João Pessoa - PB - Brasil
CEP 58059-900
Tel.: (83) 3216-7984
E-mail: gilson@ct.ufpb.br

Isabelly Cícera Souza Dias

Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal da Paraíba
E-mail: isabelly_dias@yahoo.com.br

Carmem Lúcia Moreira Gadelha

Departamento de Tecnologia da Construção Civil
Universidade Federal da Paraíba
Laboratório de Saneamento
Cidade Universitária
João Pessoa - PB - Brasil
CEP 58059-900
Tel.: (83) 3216-7739
E-mail: carmemgadelha@yahoo.com.br

Recebido em 21/11/07

Aceito em 10/06/08

Introdução

A importância da água é explicada pelo fato de ela ser essencial à sobrevivência do ser humano, ao desenvolvimento econômico e à preservação do meio ambiente. Hoje, muitas cidades experimentam problemas de desabastecimento de água devido ao crescimento da população e do consumo *per capita*, de modo que fontes alternativas surgem como solução para amenizar esses problemas. Nesse contexto inclui-se a captação de águas pluviais para usos não potáveis em residências. Segundo Tomaz (2003), a captação e aproveitamento de águas pluviais para fins diversos em residências é técnica milenar que ganha espaço nos dias atuais.

Em caso de locais desprovidos de abastecimento público de água, tal alternativa justifica-se por si só, devido aos diversos benefícios advindos do abastecimento de água. Em locais que dispõem de serviços públicos, mas que passam por crises de desabastecimento, o aproveitamento de águas pluviais desempenharia importante papel na complementação da oferta de água. No caso de locais com serviços públicos que estão funcionando bem e atendendo plenamente à demanda, ainda tal alternativa poderia ser considerada sob o ponto de vista econômico em comparação com a água fornecida pela concessionária local.

Apesar de ser uma opção interessante do ponto de vista ambiental, a implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial depende de diversos fatores, entre eles a possibilidade técnica, a viabilidade econômica e a aceitação social. Nesse contexto, o presente trabalho busca avaliar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial para os diferentes padrões socioeconômicos de moradia (popular, médio e alto) que visam ao abastecimento das bacias sanitárias, chuveiro, lavatórios, tanques, máquina de lavar roupas, lavagem de automóveis, rega de jardins e piscinas, em residências na cidade de João Pessoa, PB, como também determinar o conhecimento e a aceitação da população pessoense acerca da captação e utilização de águas pluviais em residências.

Materiais e métodos

Para fins de levantamento de custos, o sistema de aproveitamento de águas pluviais foi concebido contendo telhado, calhas, condutos verticais e horizontais, filtro de areia, cloração, reservatório inferior e reservatório superior.

A qualidade da água pluvial coletada depende das características da área de captação e das tubulações empregadas para o transporte, e também das características da chuva (presença de poluentes, valor do pH, entre outros). No presente trabalho não foi efetuada a avaliação da água pluvial, sendo considerado que em João Pessoa a água pluvial apresenta uma qualidade compatível com os dados encontrados na literatura nacional relativa ao tema (HERNANDES; AMORIM, 2006; JQUES; RIBEIRO; LAPOLLI, 2005; VACCARI *et al.*, 2005); ou seja, com previsão de um tratamento que inclua pelo menos filtração e cloração, a água pluvial é passível de ser empregada em todos os pontos de consumo de uma residência, exceto o potável.

Dessa forma, foi considerado que apenas a pia de cozinha (preparo de alimentos, lavagem de pratos, ingestão) utilizará água potável fornecida pela concessionária, e o restante da demanda por água da residência será suprido pelas águas pluviais. O uso da água pluvial em chuveiros e lavatórios pode apresentar riscos à saúde da população caso estejam presentes agentes contaminantes, pois ela pode ser ingerida. Assim, estudos são ainda necessários para se definirem os cuidados e medidas a serem adotados para o uso da água nesses pontos de consumo, os quais são de suma importância para a completa viabilidade da alternativa. Neste trabalho a análise da qualidade da água pluvial de João Pessoa não foi abordada por opção dos autores (delimitação dos objetivos deste trabalho), embora se faça necessária.

Como já mencionado, foram considerados três tipos padrão socioeconômicos de residências:

- (a) residência de padrão popular: com população de 4 habitantes, consumo *per capita* de 130,0 L/hab.dia e área de captação de águas pluviais (telhado) de 60 m²;
- (b) residência de padrão médio: com população de 5 habitantes, consumo *per capita* de 162,0 L/hab.dia e área de captação de águas pluviais (telhado) de 120 m²; e
- (c) residência de padrão alto: com população de 6 habitantes, consumo *per capita* de 192,8 L/hab.dia e área de captação de águas pluviais (telhado) de 300 m².

O consumo *per capita* bem como a distribuição de usos potáveis e de não potáveis foram pesquisados na bibliografia (CREDER, 2006; ROCHA BARRETO; IOSHIMOTO, 1998; TOMAZ, 2000, 2003), e a partir de uma compilação de dados foram definidos como sendo 130 L/hab.dia para o

consumo *per capita* e 84,6% para a demanda por água não potável (água pluvial) para a residência de padrão popular. Para os padrões médio e alto de residência, tais valores foram, respectivamente, de 162,0 L/hab.dia e 87,6% e de 192,8 L/hab.dia e 89,6% para o consumo *per capita* e demanda de água não potável respectivamente.

Os dados de precipitação utilizados no trabalho foram obtidos da Rede Hidroclimatológica do Nordeste, pelo site da ADENE (2006). Utilizou-se uma série de dados de chuva abrangendo dados diários do período de 1912 a 1969.

Com o objetivo de verificar o conhecimento da população com relação à utilização da água pluvial bem como a aceitação do seu aproveitamento, desenvolveu-se uma pesquisa de campo. As etapas de aquisição dos dados adotadas nesta pesquisa foram as seguintes:

- (a) elaboração do formulário;
- (b) determinação do tamanho da amostra;
- (c) aplicação dos formulários; e
- (d) análise estatística dos dados coletados.

Como instrumento de coleta de dados foi utilizado um formulário estruturado. Este foi aplicado aos moradores dos bairros da cidade de João Pessoa e objetivou analisar o nível de conhecimento da população com relação à utilização da água pluvial, bem como a aceitação do seu aproveitamento.

O município de João Pessoa tinha em 2000, segundo dados do censo de 2000 do IBGE, uma população residente de 597.934 habitantes e um total de 151.865 domicílios. Devido ao número total de domicílios ser muito grande, o que tornaria o processo de aplicação desses formulários muito lento e dispendioso, foi necessária a obtenção de um plano de amostragem que considerasse uma amostra significativa da área objeto de estudo, para posterior aplicação das entrevistas domiciliares.

Para a seleção dos domicílios necessários à realização da pesquisa de campo elaborou-se um plano de amostragem baseado na NBR 5426 (ABNT, 1985a) e na NBR 5427 (ABNT, 1985b), e chegou-se ao tamanho da amostra de 800 domicílios. A partir da amostragem e da planilha de estudo demográfico do município de João Pessoa, calculou-se o percentual correspondente ao número de domicílios por bairro em relação ao tamanho do lote.

Indicadores econômicos

Valor Presente Líquido (VPL)

Este método é, geralmente, aplicado quando se deseja comparar várias alternativas de projetos. Todos os benefícios e custos envolvidos, ao longo do alcance, são transformados em valores presentes.

Dentro do critério de maximização dos benefícios, a alternativa que oferecer o maior VPL será a mais atrativa. Quando as alternativas de projeto possuem os mesmos benefícios, aquela que proporcionar menores custos envolvidos será a mais atrativa. A expressão geral para a determinação do VPL é:

$$VPL = \text{Benefícios} - \text{Investimentos} - \text{Custos} \quad (1)$$

Avaliação, exclusivamente econômica, do VPL é dada por:

$VPL > 0$, o projeto é atrativo;

$VPL = 0$, o projeto é indiferente; e

$VPL < 0$, o projeto é não atrativo.

Relação Benefício/Custo (B/C)

Durante a implantação e a operação de um projeto de engenharia, ocorrerão custos, assim como receitas, que incidirão em tempos distintos ao longo da vida útil do projeto. Esses custos e/ou receitas incidirão anual ou mensalmente, dependendo da unidade de tempo utilizada na análise econômica. Normalmente, os projetos de engenharia operam durante dezenas de anos, de maneira que os custos e as possíveis receitas envolvidos no projeto são contabilizados anualmente.

Em projetos de engenharia, a identificação dos custos e benefícios começa pela definição da vida útil ou alcance de projeto. O alcance de projeto corresponde ao período de atendimento das estruturas físicas projetadas, tanto em equipamentos como em obras civis. Para os sistemas prediais, utiliza-se geralmente um alcance de 20 anos.

Os custos envolvidos na construção de um sistema de aproveitamento de água pluvial podem ser divididos em duas categorias: custos de investimento (divididos em custos diretos e indiretos) e custos de exploração. Os custos de investimentos são aqueles investidos para tornar o projeto concreto e correspondem a uma parcela de custos fixos. São divididos em custos diretos e indiretos. Os custos diretos são aqueles necessários para a formação física do projeto, isto é, para a aquisição de equipamentos, construções de instalações, adaptações, estruturas e outros. Os

custos indiretos correspondem aos custos de engenharia, aos juros pagos por empréstimos durante a construção de projeto, etc. Os custos de exploração são os correspondentes à operação e à manutenção do sistema, incluindo os administrativos. Diferentemente dos custos de investimento, que são fixos e recaem, normalmente, no início do projeto, os custos de exploração são variáveis e ocorrem em parcelas mensais, ou anuais, dependendo da escala de tempo utilizada na análise (mensal ou anual).

Os benefícios de um projeto abrangem todos os aumentos ou ganhos identificáveis, seja em satisfação subjetiva, direta ou indireta, expressos em valores econômicos ou não. Esses podem ser classificados em diretos e indiretos, como também tangíveis e intangíveis. Os benefícios diretos estão constituídos pelos resultados imediatos do projeto; já os benefícios indiretos são proporcionados, de maneira não intencional, pelos resultados do projeto. Os benefícios tangíveis são aqueles que podem ser expressos em valores econômicos (*e.g.*, a economia no consumo de água), enquanto os intangíveis são os que não admitem uma avaliação econômica direta (*e.g.*, o interesse social, político e ambiental).

Período de retorno de capital (PR)

Segundo Gomes (2005), são dois os indicadores do Período de Retorno de Capital (PRC): o PRC não-descontado e o PRC descontado.

O PRC não-descontado é o período (meses ou anos) necessário para o retorno do investimento inicial, sem se levar em conta as taxas de juros e de aumento das grandezas monetárias durante a análise do projeto. O valor do PRC indica quanto tempo é necessário para que os benefícios se igualem ao custo de investimento. O tempo de retorno descontado é o número de período que zera o VPL do projeto, levando-se em conta a taxa de juros e de aumento das parcelas incidentes.

A análise do PRC está diretamente relacionada com a duração da vida útil do projeto. Se o tempo de retorno do capital é superior ao período de vida útil do projeto, o investimento correspondente não será atrativo.

Identificação dos custos e benefícios econômicos do projeto

Custos de investimento direto

Os custos de investimento direto são:

(a) Reservatório inferior e superior: os custos dos reservatórios de acumulação (reservatório inferior) foram baseados nos preços de mercado para reservatórios pré-fabricados. Os volumes dos reservatórios com seus respectivos preços foram plotados em um gráfico (Figura 1), fornecendo a expressão do custo do reservatório em função do volume requerido. O volume adotado para o reservatório superior foi 0,5 m³;

(b) Tubulação e conjunto motor/bomba: fez-se um levantamento médio dos gastos com tubulações, calhas e conexões, e chegou-se a um valor de R\$ 166,00 (cento e sessenta e seis reais). Para recalcar água do reservatório inferior ao reservatório superior foi estabelecido um conjunto motor/bomba de 3/4 cv, com um custo médio de R\$ 450,00 (quatrocentos e cinquenta reais); e

(c) Filtro de areia: o valor do filtro de areia varia de acordo com o padrão de moradia e foi calculado após serem estabelecidos o tipo de filtração (rápida), a taxa de filtração, igual a 180 m³/m².dia para filtros de camadas simples, e a espessura da camada filtrante, igual a 0,70 m. O filtro considerado foi de alvenaria, que possui um valor de construção de R\$ 11,00 por metro quadrado. O valor do metro cúbico de areia, material filtrante, foi pesquisado e apresentou um valor médio de R\$ 25,00 por metro cúbico. Assim, os custos totais dos filtros foram: R\$ 116,50, padrão popular; R\$ 290,00, padrão médio; e R\$ 1.152,50, padrão alto.

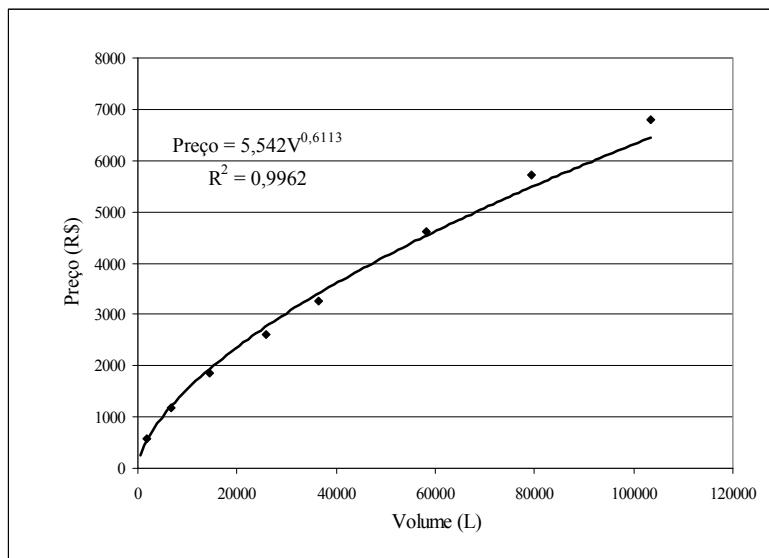
Custos de investimento indireto

A taxa de juros utilizada na análise econômica foi calculada mediante a média da variação da taxa de juros entre os anos de 2000 e 2006 do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para financiamento de projetos de saneamento ambiental e recursos hídricos (Figura 2).

A taxa de juros (TJ) utilizada é calculada a partir da seguinte expressão (BNDES, 2006):

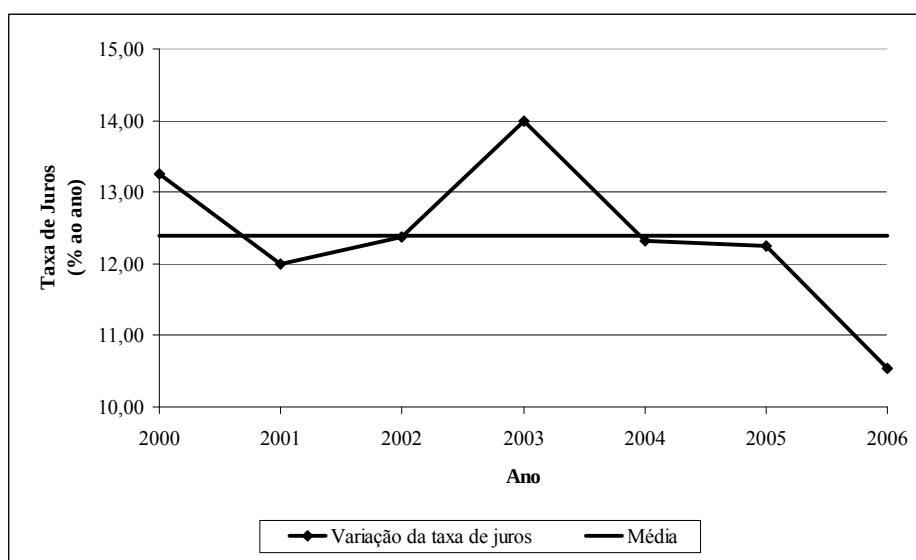
$$TJ = \text{Custo Financeiro} + \text{Remuneração do BNDES} + \text{Taxa de risco de crédito} \quad (2)$$

O custo financeiro é dado pela taxa de juros de longo prazo (TJLP) e tem período de vigência de um trimestre. A remuneração do BNDES é igual a 1,5% ao ano, e a taxa de risco de crédito é igual a 1,0% ao ano. O valor médio encontrado foi igual a 12,39% ao ano (Figura 2).



Fonte: Dias (2007)

Figura 1 - Variação do preço do reservatório em função do volume requerido



Fonte: BNDES (2006)

Figura 2 - Variação da taxa de juros entre os anos de 2000 e 2006

Custos de exploração

(a) Manutenção do sistema: os custos com manutenção correspondem aos gastos com a conservação preventiva, a reposição de peças de instalação, a reparação de possíveis avarias, e foi estimado em R\$ 25,00 por ano. Como neste trabalho foi considerado o uso não potável para as águas pluviais, situação em que as análises de qualidade podem ser eventuais e não representam um custo significativo, tais custos não foram incluídos.

(b) Energia de bombeamento: o custo da energia de bombeamento, em valores monetários anuais, pôde ser determinado por meio da Equação 3, dada em função da energia requerida pela elevatória (E) e o custo unitário da energia (p):

$$C_{\text{Energia}} = E \times p \quad (3)$$

A energia requerida, em kWh, foi obtida diretamente na Equação 4:

$$E = \frac{V \cdot \rho \cdot g \cdot H}{3,6 \times 10^6 \cdot \eta} \quad (4)$$

onde V é o volume de água aproveitado em metro cúbico por ano, ρ é o peso específico da água, igual a 1.000 kg/m^3 , g , a aceleração da gravidade, igual a $9,81 \text{ m/s}^2$, H , a altura manométrica (foi considerando diferentes valores para os diversos padrões de moradia. Para o popular, a altura manométrica utilizada foi $5,0 \text{ m}$; e $5,5 \text{ m}$ e $6,0 \text{ m}$ para os padrões médio e alto respectivamente), e η , o rendimento do conjunto motor/bomba. Segundo Macintyre (1990), o valor de η varia de 30% a 80% . O rendimento considerado do conjunto foi de 50% .

Assim, o custo anual da energia de bombeamento será:

$$C_{\text{Energia}} = \frac{V \cdot \rho \cdot g \cdot H}{3,6 \times 10^6 \cdot \eta} \times p \quad (5)$$

O custo unitário da energia, em unidades monetárias por quilowatt-hora, é estabelecido em conformidade com as tarifas cobradas pelas empresas concessionárias de energia elétrica. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2006), as tarifas cobradas dos consumidores finais estruturam-se tanto por nível de tensão como por classe de consumo. Para consumidores residenciais (tipo B1) em João Pessoa, o custo da energia, incluindo os impostos, é de R\$ 0,46 por quilowatt, tomando como referência o período compreendido de janeiro a agosto de 2006.

Benefícios econômicos

O benefício econômico considerado foi o valor da quantidade de água aproveitada num ciclo anual, tomando-se como base o valor do metro cúbico de água fornecida pela concessionária local (CAGEPA, 2006), que é de R\$ $1,99/\text{m}^3$ para consumo entre 11 e 20 m^3 (faixa na qual se enquadrava o padrão popular), de R\$ $2,62/\text{m}^3$ para consumo de 21 a 30 m^3 (faixa na qual se enquadrava o padrão médio) e de R\$ $3,56/\text{m}^3$ para consumo acima de 30 m^3 (faixa na qual se enquadrava o padrão alto). Esses valores de tarifa são apenas para os serviços de água, não incluindo os de esgotamento sanitário, e são referentes ao mês de maio de 2006.

Para simular cenários futuros, em que o valor da tarifa de água praticada deve aumentar, foram calculados os mesmos indicadores para o dobro, o triplo e o quádruplo dos atuais valores.

Resultados e discussões

Dimensionamento do reservatório inferior para armazenamento de águas pluviais

Os reservatórios para armazenamento de água pluvial foram dimensionados para alguns valores possíveis da capacidade de acumulação, variando desde o máximo possível dimensionado pelo método de Rippl até um mínimo equivalente a dez dias de consumo da residência. As planilhas do dimensionamento dos reservatórios de águas pluviais são mostradas a seguir, nas Tabelas 1, 2 e 3.

Precipitação média (mm): nesta coluna estão as precipitações médias mensais em milímetros do município de João Pessoa.

Entrada (L/mês): é o volume máximo de água de chuva que poderá ser coletado no intervalo de um mês. A entrada de água pluvial é calculada pela seguinte equação:

$$Q = P \cdot A \cdot c \quad (6)$$

onde P é a precipitação média mensal (mm), A , a área de coleta (m^2), e c , o coeficiente de *Runoff*.

Dias no mês: quantidade de dias no mês.

Consumo (L/mês): refere-se ao volume de água potável que pode ser substituído por água de chuva, ou seja, o volume de água necessário para alimentar os pontos onde não há necessidade da utilização de água potável no intervalo de um mês. O consumo é determinado multiplicando-se a demanda por água não potável, o número de habitantes na residência e a quantidade de dias no mês.

Saldo (L/mês): é a diferença entre a entrada e o consumo.

Déficit acumulado (m^3): é o somatório do saldo negativo de água de chuva nos meses de janeiro a dezembro.

Entrada acumulada ($\text{m}^3/\text{mês}$): refere-se ao somatório da entrada de águas pluviais nos meses de janeiro a dezembro.

Saldo acumulado (L/mês): somatório do saldo de águas pluviais nos meses de janeiro a dezembro.

Saldo acumulado ($\text{m}^3/\text{mês}$): saldo acumulado dividido por mil.

Mês	Precipitação média (mm)	Entrada (L/mês)	Dias no mês	Consumo (L/mês)	Saldo (L/mês)	Déficit acumulado (m³)	Entrada acumulada (m³/mês)	Saldo acumulado (L/mês)	Saldo acumulado (m³/mês)
Janeiro	82,38	4.201,52	31	13.640,0	-9.438,48	9,44	4,20	-9.438,48	-9,44
Fevereiro	93,44	4.765,66	28	12.320,0	-7.554,34	16,99	8,97	-16.992,83	-16,99
Março	204,01	10.404,39	31	13.640,0	-3.235,61	20,23	19,37	-20.228,43	-20,23
Abril	255,70	13.040,90	30	13.200,0	-159,10	20,39	32,41	-20.387,54	-20,39
Maio	285,07	14.538,73	31	13.640,0	898,73	20,39	46,95	-19.488,81	-19,49
Junho	301,94	15.399,06	30	13.200,0	2.199,06	20,39	62,35	-17.289,75	-17,29
Julho	227,60	11.607,50	31	13.640,0	-2.032,50	22,42	73,96	-19.322,25	-19,32
Agosto	136,57	6.964,96	31	13.640,0	-6.675,04	29,10	80,92	-25.997,29	-26,00
Setembro	66,43	3.388,17	30	13.200,0	-9.811,83	38,91	84,31	-35.809,12	-35,81
Outubro	25,42	1.296,50	31	13.640,0	-12.343,50	51,25	85,61	-48.152,62	-48,15
Novembro	29,43	1.500,68	30	13.200,0	-11.699,33	62,95	87,11	-59.851,95	-59,85
Dezembro	37,83	1.929,20	31	13.640,0	-11.710,80	74,66	89,04	-71.562,75	-71,56
Σ	1.745,83	89.037,25	-	160.600,0					
Volume máximo do reservatório (m³)		8,80							
Volume mínimo do reservatório (m³)		4,40							

Fonte: Dias (2007)

Tabela 1 - Dimensionamento do reservatório para o padrão popular

Mês	Precipitação média (mm)	Entrada (L/mês)	Dias no mês	Consumo (L/mês)	Saldo (L/mês)	Déficit acumulado (m³)	Entrada acumulada (m³/mês)	Saldo acumulado (L/mês)	Saldo acumulado (m³/mês)
Janeiro	82,38	8.403,03	31	22.010,0	-13.606,97	13,61	8,40	-13.606,97	-13,61
Fevereiro	93,44	9.531,31	28	19.880,0	-10.348,69	23,96	17,93	-23.955,65	-23,96
Março	204,01	20.808,78	31	22.010,0	-1.201,22	25,16	38,74	-25.156,87	-25,16
Abril	255,70	26.081,79	30	21.300,0	4.781,79	25,16	64,82	-20.375,08	-20,38
Maio	285,07	29.077,45	31	22.010,0	7.067,45	25,16	93,90	-13.307,62	-13,31
Junho	301,94	30.798,12	30	21.300,0	9.498,12	25,16	124,70	-3.809,51	-3,81
Julho	227,60	2.3215,01	31	22.010,0	1.205,01	25,16	147,92	-2.604,50	-2,60
Agosto	136,57	13.929,93	31	22.010,0	-8.080,07	33,24	161,85	-10.684,57	-10,68
Setembro	66,43	6.776,33	30	21.300,0	-14.523,67	47,76	168,62	-25.208,24	-25,21
Outubro	25,42	2.593,00	31	22.010,0	-19.417,00	67,18	171,21	-44.625,24	-44,63
Novembro	29,43	3.001,35	30	21.300,0	-18.298,65	85,48	174,22	-62.923,89	-62,92
Dezembro	37,83	3.858,40	31	22.010,0	-18.151,60	103,63	178,07	-81.075,49	-81,08
Σ	1745,83	178.074,51	-	259.150,0					
Volume máximo do reservatório (m³)		22,55							
Volume mínimo do reservatório (m³)		7,10							

Fonte: Dias (2007)

Tabela 2 - Dimensionamento do reservatório para o padrão médio

Mês	Precipitação média (mm)	Entrada (L/mês)	Dias no mês	Consumo (L/mês)	Saldo (L/mês)	Déficit acumulado (m³)	Entrada acumulada (m³/mês)	Saldo acumulado (L/mês)	Saldo acumulado (m³/mês)
-	-	-	-	-		-	-	-	
Janeiro	82,38	21.007,59	31	32.147,0	-11.139,41	11,14	21,01	-11.139,41	-11,14
Fevereiro	93,44	23.828,28	28	29.036,0	-5.207,72	16,35	44,84	-16.347,13	-16,35
Março	204,01	52.021,96	31	32.147,0	19.874,96	16,35	96,86	3.527,83	3,53
Abril	255,70	65.204,48	30	31.110,0	34.094,48	16,35	162,06	37.622,31	37,62
Maio	285,07	72.693,63	31	32.147,0	40.546,63	16,35	234,76	78.168,94	78,17
Junho	301,94	76.995,29	30	31.110,0	45.885,29	16,35	311,75	124.054,23	124,05
Julho	227,60	58.037,52	31	32.147,0	25.890,52	16,35	369,79	149.944,75	149,94
Agosto	136,57	34.824,82	31	32.147,0	2.677,82	16,35	404,61	152.622,57	152,62
Setembro	66,43	16.940,83	30	31.110,0	-14.169,17	30,52	421,55	138.453,40	138,45
Outubro	25,42	6.482,50	31	32.147,0	-25.664,50	56,18	428,04	112.788,90	112,79
Novembro	29,43	7.503,38	30	31.110,0	-23.606,63	79,79	435,54	89.182,27	89,18
Dezembro	37,83	9.646,00	31	32.147,0	-22.501,00	102,29	445,19	66.681,27	66,68
Σ	1745,83	445.186,27	-	378.505,0					
Volume máximo do reservatório (m³)		102,29							
Volume mínimo do reservatório (m³)		10,37							

Fonte: Dias (2007)

Tabela 3 – Dimensionamento do reservatório para o padrão alto

Para o padrão popular, o volume máximo do reservatório de água de chuva foi encontrado tomando-se como base vinte dias de consumo, uma vez que o volume máximo calculado pelo método de Rippl (determinado através do somatório do saldo positivo, para consumo maior que entrada de água de chuva), foi inferior ao volume mínimo (considerando dez dias de consumo na residência). O volume máximo calculado pelo método de Rippl foi igual a 3,10 m³, e o volume mínimo, igual 4,40 m³.

A partir dos valores máximo e mínimo referentes ao volume do reservatório de acumulação de água pluvial, foram atribuídos valores possíveis entre aqueles (7,70 m³, 6,60 m³ e 5,50 m³) para que fosse analisada a viabilidade econômica referente à quantidade de água aproveitada num ciclo anual.

No padrão médio, o volume máximo do reservatório de água de chuva foi calculado pelo método de Rippl (22,55 m³), e o volume mínimo para suprir dez dias de consumo na residência foi igual a 7,10 m³. A partir dos valores máximo e mínimo referentes ao volume do reservatório de acumulação de água de chuva, foram atribuídos possíveis valores entre aqueles (18,00 m³, 14,00 m³ e 10,00 m³) para que fosse analisada a viabilidade econômica referente à quantidade de água aproveitada num ciclo anual.

Para o padrão alto, o volume máximo do reservatório de água de chuva foi calculado pelo método de Rippl (determinado através do somatório do saldo negativo, para consumo menor que entrada de água de chuva). O volume máximo foi igual a 102,29 m³, e o volume mínimo, igual 10,37 m³. A partir desses valores, referentes ao volume do reservatório de acumulação de água de chuva, foram atribuídos valores possíveis entre aqueles (75,00 m³, 45,00 m³ e 28,00 m³) para que fosse analisada a viabilidade econômica dos reservatórios de acumulação para o padrão alto referente à quantidade de água aproveitada num ciclo anual.

Indicadores econômicos do sistema de aproveitamento de águas pluviais

Foram calculados, para os valores considerados da capacidade do reservatório de acumulação, os indicadores econômicos valor presente líquido (VPL) e razão benefício/custo (B/C), para uma vida útil do sistema de 20 anos, assim como o período de retorno (PR). Os indicadores da análise econômica do sistema de aproveitamento de água pluvial para os padrões popular, médio e alto de residências são apresentados nas Figuras 3 a 11. Nessas figuras, são também apresentados os mesmos indicadores econômicos calculados para o

dobro, o triplo e o quádruplo dos valores de tarifa de água praticados atualmente. Esse procedimento visou simular possíveis cenários futuros de tarifa de água, os quais tendem a se elevar devido a fatores relacionados com a escassez da água. Em alguns gráficos, os valores dos indicadores VPL e PR não aparecem por terem apresentado valores negativos (VPL) ou superiores a 20 anos (PR), que foi o alcance do projeto considerado.

Para o atual cenário de tarifas, o aproveitamento de águas pluviais no âmbito predial é alternativa economicamente inviável para os padrões popular e médio de residências. Para o padrão alto, em virtude do valor mais elevado de tarifa e da quantidade maior de águas pluviais utilizadas, a alternativa é economicamente viável, com VPL variando de R\$ 1.278,17 a R\$ 2.254,00, B/C variando de 1,3 a 1,5, e PR variando de 8,2 a 10,2 anos.

Por outro lado, para cenários futuros de valor de tarifa, o aproveitamento de águas pluviais em residências é alternativa economicamente viável, com VPL de até cerca de R\$ 32.386,11 para o padrão alto de residência e valor de tarifa de água equivalente ao quádruplo do atual, por exemplo.

Com relação ao volume do reservatório de acumulação, os valores da razão benefício/custo e período de retorno para os padrões popular e alto foram mais vantajosos para valores reduzidos da capacidade do reservatório, enquanto para o padrão médio esses indicadores tiveram melhores resultados para reservatórios com volume de acumulação igual a 18 m³. Com relação ao VPL, esse foi mais vantajoso para valores elevados da capacidade do reservatório, para todos os padrões socioeconômicos de residências.

Opinião da população de João Pessoa

Durante a aplicação dos formulários, buscou-se entrevistar os moradores adultos (88,6%), obtendo-se, assim, uma maior credibilidade nas informações registradas. A partir dos resultados das entrevistas foram realizadas diversas análises, que permitiram avaliar o nível de conhecimento da população (adulta) com relação à utilização da água pluvial bem como sua aceitação para uso em residências. Na Figura 12 é apresentado o percentual dos entrevistados que têm ou não conhecimento sobre a utilização da água pluvial.

Observa-se na Figura 12 que 66,1% dos entrevistados declararam ter conhecimento da utilização de águas pluviais em residências, evidenciando que tal alternativa já é do conhecimento da maioria da população pessoense adulta.

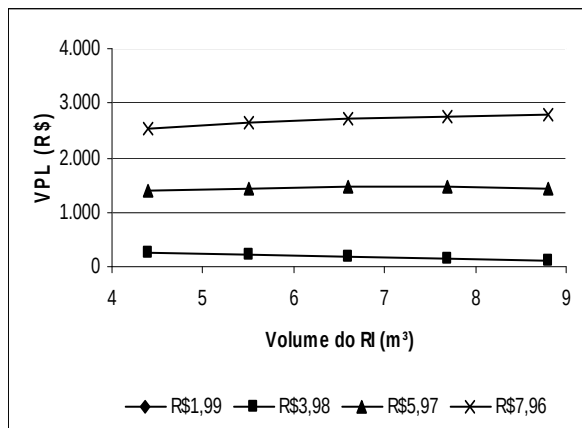


Figura 3 - VPL para o padrão popular

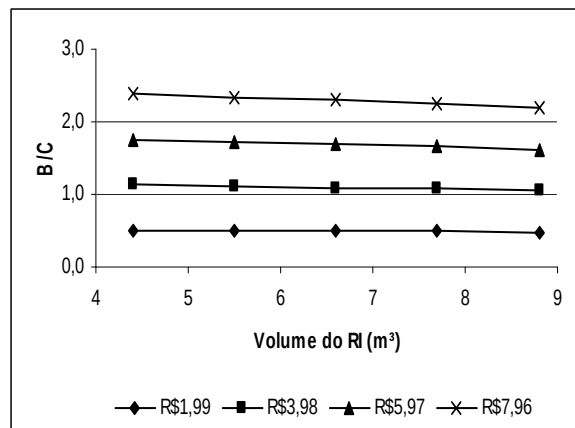


Figura 4 - Razão B/C para o padrão popular

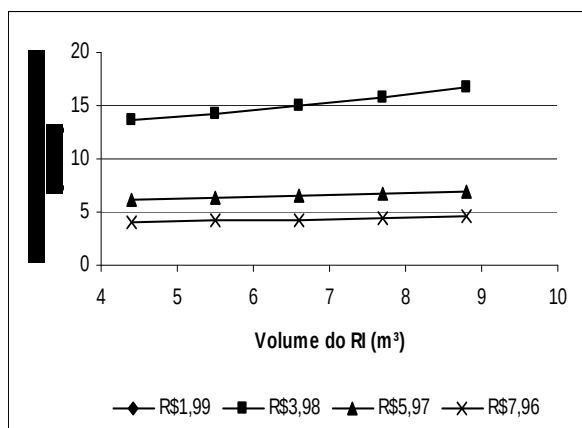


Figura 5 - PR para o padrão popular

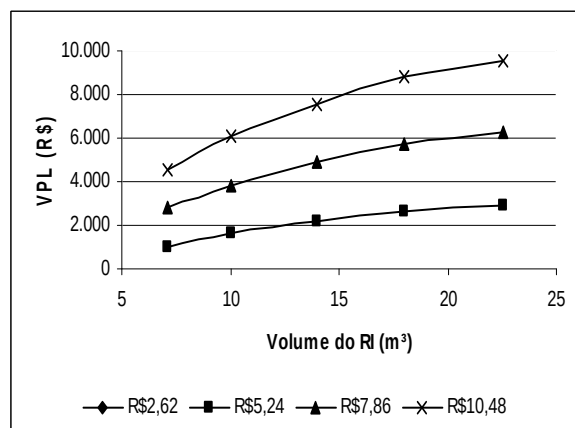


Figura 6 - VPL para o padrão médio

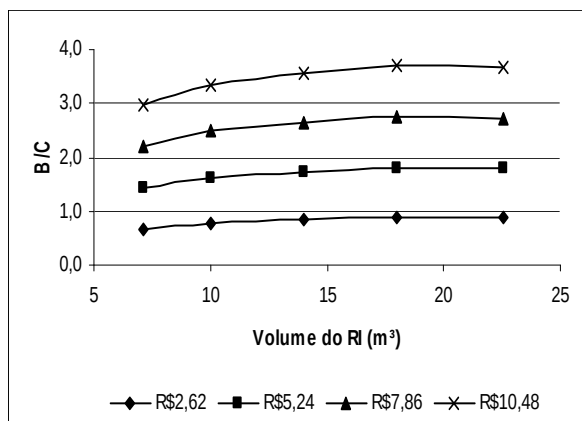


Figura 7 - Razão B/C para o padrão médio

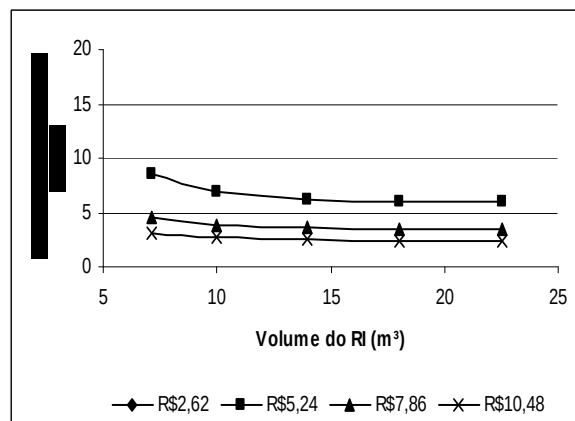


Figura 8 - PR para o padrão médio

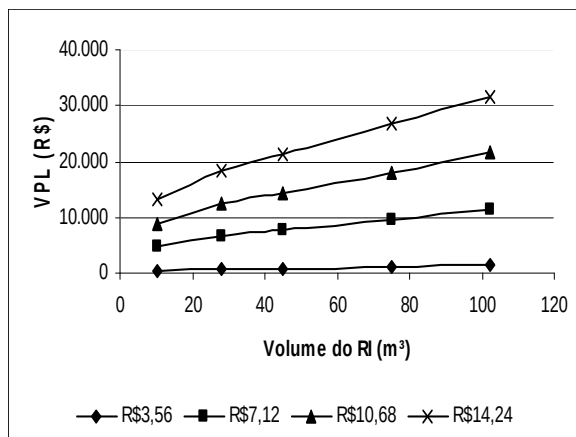


Figura 9 - VPL para o padrão alto

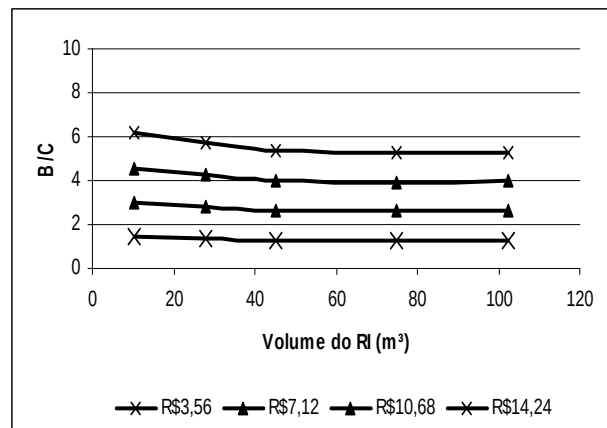


Figura 10 - Razão B/C para o padrão alto

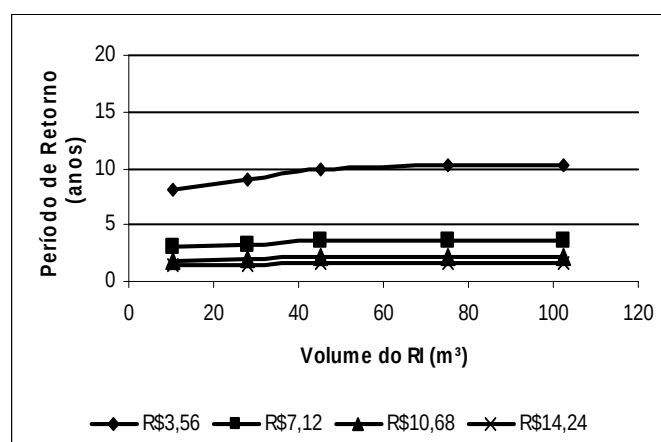


Figura 11 - PR para o padrão alto

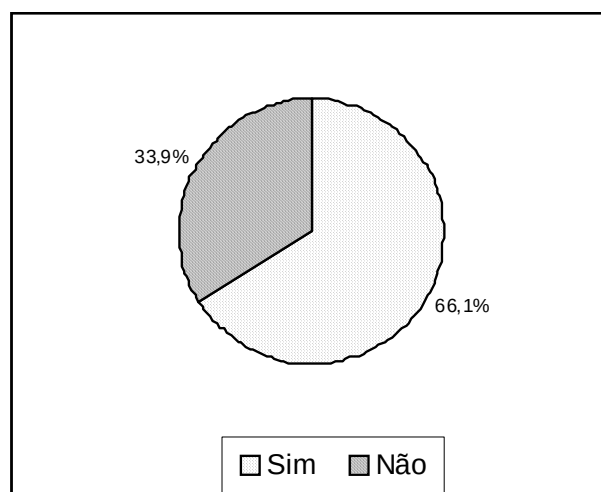


Figura 12 - Conhecimento sobre a utilização da água pluvial em João Pessoa, em 2006

Do percentual que tem conhecimento da utilização de águas pluviais (66,1%), os que utilizam (mesmo que eventualmente) são 54,4% (35,9% do total). Em 99,6% desses casos (35,8% do total), a água que escoa pelo telhado é armazenada diretamente

em baldes ou bacias plásticas e é utilizada sem nenhum tratamento. Das pessoas que utilizam águas pluviais, 69,5% (24,9% do total) exercem a prática da captação em suas residências sem tratamento, por acharem que para os fins que a

utilizam não é necessário esse procedimento. São 28,3% (10,2% do total) os que não fazem o tratamento porque não têm conhecimento, e 2,2% (0,8% do total), para não onerar o custo do aproveitamento. Do percentual dos que fazem uso da água pluvial, 93,1% (33,5% do total) utilizam-na na limpeza e arrumação geral da casa; 59,2% (21,3% do total), na rega de jardins; 48,4% (17,4% do total), em bacias sanitárias; 31,5% (11,3% do total), na lavagem de automóveis; e 4,2% (1,5% do total), em outras finalidades, entre elas a lavagem de pratos e roupas.

Do percentual que tem conhecimento da utilização de águas pluviais em residências, 45,6% (30,2% do total) não utilizam essa técnica, e 70,4% deles (21,2% do total) responderam que não a utilizam por não terem nenhum tipo de incentivo; 47,1% (14,2% do total), pela dificuldade de captação; 6,2% (1,9% do total), por não terem interesse; 1,7% (0,5% do total), pelo perigo de contaminação; e 6,2% (1,9% do total), por outras opções.

Dos 33,9% que não têm conhecimento da utilização da água pluvial, 87,6% (29,7% do total) a utilizariam em suas residências. Desse percentual, 92,5% (27,5% do total) utilizariam na limpeza e arrumação geral da casa; 81,7% (24,3% do total), na rega de jardins; 71,3% (21,2% do total), em bacias sanitárias; 58,3% (17,3% do total), na lavagem de automóveis; e 12,9% (3,8% do total), em outras opções. Não utilizariam águas pluviais 9,8% (3,3% do total); destes 47,1% (1,6% do total) justificam a dificuldade de captação; 38,2% (1,3% do total), a falta de incentivo; 11,8% (0,4% do total), o perigo de contaminação; 8,8% (0,3% do total) não expressam interesse com relação ao método; e 8,8% (0,3% do total), por outras opções.

Conclusões

Resguardado o cuidado e as medidas para a garantia da água pluvial a ser empregada em pontos de consumo tais como o chuveiro e o lavatório, o que pode diminuir os usos potenciais da água pluvial nas situações estudadas neste trabalho, conclui-se que, para o atual cenário de tarifas, as economias obtidas com a utilização de águas pluviais não foram suficientes para cobrir os custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas para os padrões socioeconômicos popular e médio de residências, sendo, no entanto, economicamente viável para o padrão alto de residências. Por outro lado, para os cenários futuros de tarifas aqui considerados, o aproveitamento de água pluvial em residências seria alternativa economicamente viável qualquer que seja o padrão de residências.

Para o padrão popular, reservatórios de acumulação com capacidade reduzida resultam em maiores razões benefício/custo e menores períodos de retorno. Já o VPL tende a aumentar à medida que maiores volumes de água pluvial sejam utilizados. Considerando os prováveis aumentos que a água sofrerá nos próximos anos, caso se queira recuperar o capital investido no sistema em menor tempo, a melhor opção é construir reservatórios com capacidade reduzida, porém, para longo prazo, reservatórios com maiores capacidades de armazenamento resultarão num maior retorno do investimento financeiro.

Para o padrão médio de residências, reservatórios com volumes de acumulação intermediários (18 m³) resultam em maiores razões benefício/custo e menores períodos de retorno. Em cenários futuros, os maiores VPL alcançados são para volumes maiores dos reservatórios de acumulação.

O sistema de aproveitamento de águas pluviais foi viável economicamente para todos os cenários de cobrança de tarifas do padrão alto de residências. Isso decorre da maior demanda por águas não potáveis e do valor mais elevado da tarifa. Para este padrão, reservatórios com maiores capacidades de armazenamento fornecem um maior retorno do investimento financeiro para qualquer que seja o cenário da cobrança de tarifas.

Embora não se tenham indicadores econômicos atrativos para o cenário atual de cobrança de tarifas para os padrões popular e médio, deve-se considerar que os possíveis aumentos que a água sofrerá nos próximos anos diminuirão o período de retorno e aumentarão o benefício/custo e o VPL.

Com relação à aceitação social da alternativa, mais da metade da população de João Pessoa tem conhecimento da utilização das águas pluviais em residências, sendo que mais de um terço a utiliza, mesmo que eventualmente. Somando-se o percentual das pessoas que já utilizam águas pluviais com aquele relativo às pessoas que utilizariam águas pluviais em residências caso tivessem conhecimento da opção, a parcela de utilização aumentaria para quase dois terços (65,6%) entre a população pessoense, o que demonstra um alto nível de aceitação da opção.

Por fim, destaca-se que a utilização de fontes alternativas à rede de abastecimento pública pressupõe que a responsabilidade pela qualidade da água deixa de ser da concessionária de água e esgoto, sendo imprescindível a orientação dos usuários para que se evitem problemas de saúde pública.

Referências

ADENE. AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Rede hidroclimatológica do Nordeste**. Disponível em:

<<http://www.adene.gov.br/ixpress/pluviometria/plv/index.dml>> Acesso em: 6 fev. 2006.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5426**: Planos de Amostragem e Procedimentos na Inspeção por Atributos. Rio de Janeiro, 1985a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5427**: Guia de Utilização da Norma 5.426 – Planos de Amostragem e Procedimentos na Inspeção por Atributos. Rio de Janeiro, 1985b.

BNDES – **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/social/saneamento.asp>>. Acesso em: 20 jul. 2006.

CAGEPA. Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://www.cagepa.pb.gov.br/index.shtml>>. Acesso em: 18 set. 2006.

CREDER, H. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 440 p.

DIAS, I. C. S. **Estudo da viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água de chuva em residências na cidade de João Pessoa**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

GOMES, H. P. **Eficiência hidráulica e energética em saneamento**: análise econômica de projetos. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 114 p.

HERNANDES, A. T.; AMORIM, S. V. Avaliação quantitativa e qualitativa de um sistema de aproveitamento de água pluvial em uma edificação na cidade de Ribeirão Preto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., Florianópolis, 2006. **Anais...** Florianópolis, 2006. p. 3364-3372.

JAQUES, R. C.; RIBEIRO, L. F.; LAPOLLI, F. R. Avaliação da qualidade da água de chuva da cidade de Florianópolis - SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005. **Anais...** Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2005. CD-ROM.

MACINTYRE, A. J. **Manual de instalações hidráulicas e sanitárias**. Rio de Janeiro: LTC, 1990. 324p.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água**. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Documento Técnico de Apoio E1. Ministério do Planejamento e Orçamento. Brasília, 1998.

TOMAZ, P. **Previsão de consumo de água**: interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos. São Paulo: Navegar, 2000. 250 p.

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

VACCARI, K. P.; BOLSONI, P.; BASTOS, F.; GONÇALVES, R. F. Caracterização da água de chuva para o seu aproveitamento em edificações como fonte alternativa de água para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., Campo Grande, Mato Grosso do Sul. **Anais...** 2005. CD-ROM.