LARISSA VIRGÍNIA DA SILVA RIBAS
PAULO HENRIQUE BARROS BANDEIRA DE MELLO

APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE : APLICAÇÃO PARA UM FIM NÃO POTÁVEL

Recife
2014

LARISSA VIRGÍNIA DA SILVA RIBAS
PAULO HENRIQUE BARROS BANDEIRA DE MELLO

APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE : APLICAÇÃO PARA UM FIM NÃO POTÁVEL

Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia Civil
apresentada à Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requesitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Área de concentração:
Engenharia de recursos hídricos

Orientador:
Prof.º Dr.º Antonio Celso Dantas Antonino

Recife
2014

Catalogação na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

R482a Ribas, Larissa Virgínia da Silva.
Aproveitamento de águas pluviais na região metropolitana do Recife: aplicação para um fim não potável / Larissa Virgínia da Silva Ribas e Paulo Henrique Barros Bandeira de Mello. - Recife: O Autor, 2014.
42 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Celso Dantas Antonino.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil, 2014.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Água da chuva. 3. Reservatório. 4. NBR 15527/2007. 5. Região Metropolitana do Recife. I. Mello, Paulo Henrique Barros Bandeira de. II. Antonino, Antonio Celso Dantas. (Orientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.) BCTG/2014-206

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus meu pai, que iluminou minha trajetória universitária e me deu força e fé para estudar.
À minha linda mãe, Socorro, que nunca mediu esforços para subsidiar meus estudos (e luxos) e que sempre acreditou no meu potencial.
À minha tia Dinha, que sempre foi minha ajuda particular e professora, mesmo sem saber nada de engenharia.
À minha avó, Antônia, por todas as orações em meu nome, que sem dúvida foram de imensa importância para o meu sucesso.
À minha irmã, Lilian, por respeitar e fazer silêncio para que eu estudasse melhor.
Ao Carlos, pela compreensão e carinho durante todos esses anos.
Aos meus amigos, os de longas datas e aos que fiz durante o processo, porque fomos o apoio um dos outros durante as “noites de estudo pesado” o que garantiu a eficácia e eficiência durante a Era CTG.
Ao meu grande amigo e mais completo engenheiro que conheço, Artur Paiva Coutinho, agradeço pela confiança no meu potencial, pelos ensinamentos como professor e amigo, por todas as oportunidades oferecidas e, sobretudo, por me fazer ver a importância do amor pela profissão.
Ao professor Antonio Celso Dantas Antonino pela disponibilidade e atenção na orientação deste trabalho.

Larissa Virgínia da Silva Ribas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Luiz Fernando e Maria Beatriz, pelo apoio incondicional e por sempre acreditarem nas minhas capacidades.
À meu avô Emir (in memorian), que despertou em mim a vontade de ser engenheiro.
Aos meus irmãos, Luiz Fernando e Marcelo, pelas experiências de vida, apoio e companheirismo compartilhados.
À minha namorada, Rachel, por compreender os momentos de estudo e amor dedicado .
Aos amigos e colegas de curso, pelas tantas noites de estudo que varavam a madrugada, além da camaradagem e amizade.
Aos colegas e tutores de estágio, pela paciência, pelos valores ensinados e pelas lições que não se aprendem na faculdade.
Ao engenheiro Arthur Paiva Coutinho, sem o qual esse trabalho não seria possível.
Ao professor Antonio Celso Dantas Antonino pela orientação deste trabalho.

Paulo Henrique Barros Bandeira de Mello.

RESUMO

Diante da problemática de escassez de água, intensificada pelo crescimento populacional e consequente aumento da demanda por água potável, é essencial a busca por fontes alternativas de suprimento e de conservação da água. O sistema de aproveitamento de água pluvial doméstico para fins não nobres mostra-se viável por sua simplicidade de implementação e baixo custo, além de trazer benefícios as áreas urbanas através do controle distribuído do escoamento superficial. O estudo realizado tem como objetivo estimar a capacidade de armazenamento de águas pluviais para um fim não potável (descargas em vasos sanitários) para as 14 cidades da Região Metropolitana do Recife, além de fornecer orçamentos para diferentes materiais e situações de instalação do reservatório. São comparados os diferentes modelos de dimensionamento de reservatórios de armazenamento de água da chuva considerados na NBR 15527/2007 e os métodos de Fendrich e Ripll/ Monte Carlo. A aplicação das metodologias resultou em capacidades volumétricas de reservatórios que variam de 2 m³ a 47 m³. Fixando-se um valor ótimo de 6 m³ calculou-se os custos que, a depender do material utilizado e da situação adotada, variam entre R$ 2.348,14 e R$ 4.623,36.

Palavras – chave: Água da chuva. Reservatório. NBR 15527/2007. Região Metropolitana do Recife.

ABSTRACT

Due to the water scarceness problems, made more severe by the continuous population increase, resulting in a bigger demand for drinkable water, it is essential to search for alternatives sources of water supply and conservation. The rain water domestic use system for non noble uses becomes a good alternative for its simplicity of installation and low cost, besides that it brings benefits to the urban areas by the superficial flowage control. This study has the objective of estimate the storage capacity of rain water for non noble uses (such as flush toilets discharges) for the 14 cities of Recife's metropolitan area, additionally this study provide budgets for different materials and implementation situations for the reservoir. The Different models of rain water storage dimensioning considered at the NBR 15527/2007 and the method of Fendrich and the method of RipII/Monte Carlo are compared at this thesis. The use of this methods resulted in a storage potential between 2 m³ and 47 m³. Establishing the volume of 6 m³, was calculated the cost, wich depending of the chosen material and implementation situation, vary between R$ 2.348,14 and R$ 4.623,36.

Keywords: Rainwater. Reservoir. NBR 15527/2007. Metropolitan area of Recife.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica das cidades da RMR.....4
Figura 2 : População de Pernambuco nos Censos Demográficos 5
Figura 3: Esquema de aplição do Método de Monte Carlo.....12
Figura 4: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Abreu e Lima. 17
Figura 5: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Araçoiaba. 18
Figura 6: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Cabo de Santo Agostinho.....18
Figura 7: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Camaragibe.....18
Figura 8: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Igarassu.....19
Figura 9: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Ipojuca.....19
Figura 10: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Itamaracá. 19
Figura 11: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Itapissuma. 20
Figura 12: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Jaboatão dos Guararapes. 20
Figura 13: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Moreno. 20
Figura 14: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Olinda. 21
Figura 15: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Paulista.....21
Figura 16: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Recife. 21
Figura 17: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de São Lourenço da Mata. 22
Figura 18: Aplicação do método de Monte Carlo para as cidades da RMR. 24
Figura 19: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Abreu e Lima.....27
Figura 20: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Araçoiaba.....27
Figura 21: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Cabo de Santo Agostinho. 27
Figura 22: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Camaragibe. 28

Figura 23: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Igarassu. 28
Figura 24: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Ipojuca. 28
Figura 25: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Itamaracá. 29
Figura 26: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Itapissuma....29
Figura 27: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Jaboatão dos Guararapes....29
Figura 28: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Moreno....30
Figura 29: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Olinda. 30
Figura 30: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Paulista. 30
Figura 31: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Recife....31
Figura 32: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do São Lourenço da Mata....31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das estações pluviométricas selecionadas 8
Tabela 2: Precipitações médias mensais (mm) para o período de 8 anos completos. 14
Tabela 3: Precipitações médias anuais (mm), desvio padrão anual e número médio de meses de estiagem, para o período de 8 anos completos. 15
Tabela 4: Volumes (m³) calculados para os reservatórios, de acordo com os métodos avaliados 16
Tabela 5: Probabilidades associadas aos volumes dos métodos Azevedo Neto, Prático Alemão, Prático Inglês e Fendrich.....25
Tabela 6: Orçamento para reservatório enterrado em concreto armado 34
Tabela 7: Orçamento para reservatório semi-enterrado em concreto armado 34
Tabela 8: Orçamento para reservatório elevado em concreto armado.....35
Tabela 9: Orçamento para reservatório enterrado em PRFV 37
Tabela 10 : Orçamento para reservatório enterrado em PEAD 38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
1.1 Estudo de Caso: aproveitamento da água pluvial na Região Metropolitana do Recife 4
2. OBJETIVOS 7
2.1 OBJETIVO GERAL 7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 7
3. MATERIAIS E MÉTODOS 8
3.1 Método de Rippl (NBR 15527/2007) 9
3.2 Método Azevedo Neto (NBR 15527/2007) 10
3.3 Método Prático Alemão (NBR 15527/2007) 10
3.4 Método de Fendrich (Fendrich, 2002) 10
3.5 Método Prático Inglês (NBR 15527/2007) 11
3.6 Método de Monte Carlo 11
3.7 Método utilizado para orçamentos 12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 14
4.1 Método de Rippl 16
4.2 Método Azevedo Neto 22
4.4 Método Prático Inglês 22
4.5 Método de Fendrich 23
4.6 Método de Monte Carlo 23
4.7 Análise de falha do reservatório 26
4.8 Sugestão de aplicação 32
4.8.1 Reservatório em concreto armado 33
4.8.2 Reservatório em plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) 35
4.8.3 Reservatório em Polietileno de Alta Densidade (PEAD) 37
5. CONCLUSÕES 39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 41

1. INTRODUÇÃO

As questões referentes à escassez da água e o seu racionamento estão em evidência mundial. A escassez é fruto do mau uso dos recursos hídricos, da poluição por fontes pontuais como esgoto sanitário e por fontes difusas como a drenagem urbana e irrigação. A degradação da qualidade da água é proveniente do aumento da demanda, consequência do crescimento populacional, interveniente direto da escassez da água, e, sobretudo, a falta de conscientização de uma parcela considerável da população a que se acrescenta a falta de incentivos ao uso sustentável da água.

O crescimento rápido e desordenado da população associado à concentração populacional em pequenas áreas metropolitanas aumentam o consumo de água, seu desperdício e sua poluição. As projeções da Organização das Nações Unidas indicam que, se a tendência continuar, em 2050 mais de 45% da população mundial estará vivendo em países que não poderão garantir a cota diária mínima de 50 litros de água por pessoa (CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação, 2005).

A concentração populacional nas cidades, é a causa de graves problemas urbanos, inclusive de muitas alterações do ciclo natural da água como a diminuição de água infiltrada e da recarga dos aquíferos, o aumento do escoamento superficial, as mudanças na quantidade e local das precipitações, além de alterações na qualidade das águas pluviais urbanas devido aos poluentes atmosféricos e aos poluentes existentes nas superfícies impermeáveis (CHOCAT, 1997).

É imprescindível a conscientização dos consumidores, para que através do uso racional da água possa se garantir a conservação desse recurso para gerações futuras.

Atualmente, fontes alternativas de água podem ser conseguidas a partir do aproveitamento de água de chuva (CIRILO et al., 2007); (COUTINHO et al., 2011a); (COUTINHO et al., 2011b) e da dessalinização da água do mar, além dos métodos de reuso de águas cinzas[1] e o tratamento de águas negras e amarelas.

O método de aproveitamento das águas pluviais destaca-se por sua simplicidade, baixo custo e eficiência como meio de preservação da água potável (ANNECCHINI, 2005).

[1]As águas cinzas são aquelas derivadas dos chuveiros, lavatórios de banheiro, banheiras, tanques, máquinas de lavar roupas e lavagem de autos, sejam de uso doméstico ou comercial (CETEM, 2013).

A ideia do sistema de aproveitamento das águas pluviais em áreas urbanas é utilizar a água captada para os fins não nobres, isto é, utilizá-la em locais em que não se necessita precisamente de água potável, seja em descarga de vasos sanitários, rega de jardins, lavagem de calçadas, lavagem de veículos ou roupas, reserva de incêndio ou ainda para o controle da parcela de escoamento superficial gerada pelos lotes aliviando assim os sistemas de microdrenagem urbana. A água potável, fornecida pelas empresas de distribuição de águas, é utilizada apenas para fins nobres, o que a longo prazo, a tarifa reduzida, não só cobriria os custos referentes à implantação do sistema de captação, como traria uma expressiva economia da água própria para consumo contribuindo para a sua conservação no meio ambiente.

Em regiões do Brasil, ao exemplo de Curitiba, existem leis de regulamentação para a captação, armazenamento, conservação e uso racional da água pluvial nas edificações urbanas, comerciais, industriais e rurais que tenham área impermeabilizada igual ou superior a 500 m². A legislação afirma que os projetos de execução, reformas ou alterações de edificações serão condicionados à construção de um reservatório para acumulação das águas pluviais, sendo requisito para obtenção de alvarás de construção.

Armazenar água da chuva mostrou-se uma estratégia forte a ser considerada para aplicação em nível nacional, sobretudo diante do aumento dos custos econômicos e ambientais do fornecimento de água centralizado por empresas de saneamento e do alto custo da perfuração de poços. Assim, a alternativa de aproveitamento de água pluvial apresenta vantagens ecológicas e qualitativas. (IEH, 2013).

Quanto às vantagens ecológicas destaca-se a simplicidade do sistema que utiliza as estruturas já existentes na edificação (telhados, lajes), capta e armazena a água da chuva promovendo a autossuficiência do sistema e o baixo impacto ambiental, minimizando problemas ambientais de erosão local e cheias causadas por escorrimento superficial de superfícies impermeabilizadas.

Em relação às vantagens qualitativas, as águas das chuvas têm maior qualidade em relação às demais fontes de captação de água, uma vez que ela não entra em contato com solos e rochas, evitando a dissolução de sais e minerais (BERTOLO, 2006). As superfícies de captação de águas pluviais, que entram em contato direto com a mesma, devem permanecer livres de contaminantes a fim de

evitar a lavagem desses para o armazenamento do sistema. O procedimento mais comum é o descarte dos primeiros minutos de chuva, para que a água limpe a superfície coletora. No entanto, a qualidade da água da chuva está diretamente relacionada com o local onde ocorre a precipitação. As emissões atmosféricas dos grandes centros urbanos e industriais podem afetar a sua qualidade.

Em relação ao usuário, o sistema de captação de água pluvial proporcionará uma diminuição do consumo doméstico de água potável e consequente economia com gastos em taxas de água, o que a longo prazo cobrirá os gastos com a implantação do sistema, acarretando em uma boa relação custo/benefício.

Outra importante serventia da coleta da água precipitada é a reserva de água para casos ou situações de emergência, como os racionamentos de água devido a fatores climáticos que diminuem a oferta em determinadas regiões ou problemas no abastecimento público.

Nos países desenvolvidos já existem sistemas de armazenamento de águas pluviais atuando em larga escala, alguns estimulam a coleta, armazenamento e uso da água da chuva para fins não potáveis através de incentivos financeiros, como a diminuição de taxas cobradas para tratamento de esgotos como na cidade de Berlim (SCHIMIDT, 2001) e a concessão financeira para implantação do sistema em Hamburgo (TOMAZ, 2003). Na Holanda, por exemplo, país situado abaixo do nível mar, a água é coletada para evitar o transbordamento dos canais que rodeiam o país. A água armazenada é utilizada na irrigação de lavouras e abastecimento de fontes ornamentais (MAY, 2004).

No semiárido brasileiro, devido a grande irregularidade das chuvas que ocorrem nessa área e as próprias características do solo, vegetação e regime fluvial acarretam dificuldade ao acesso de água, principalmente a de boa qualidade. A situação é agravada na zona rural do semiárido nordestino, uma vez que, praticamente, não há sistema de abastecimento de água nessa área. Uma alternativa que ameniza esse conflito é a captação de água de chuva, algo relativamente fácil de se fazer e que com um tratamento adequado pode ser utilizada inclusive para o consumo humano (SOARES, 2004).

Coutinho et al. (2011a) afirmam que o Nordeste apresenta uma condição especial para utilização de sistemas de captação e armazenamento de água de chuva e, consequentemente, do uso de cisternas. Uma cisterna consiste em um reservatório de águas pluviais, em que a água armazenada no período chuvoso irá

suprir as necessidades dos períodos de estiagem. O armazenamento da água da chuva nessas regiões também é incentivado e financiado por Organizações Não Governamentais (ONG's) em parceria com o governo federal (ANNECCHINI, 2005).

Nas regiões urbanas e industriais, devido aos grandes índices de poluição atmosférica e da própria área de captação, a água da chuva recolhida é mais sujeita à contaminação, o que reforça o aproveitamento da água ser utilizado, prioritariamente, para fins não potáveis.

1.1 Estudo de Caso: aproveitamento da água pluvial na Região Metropolitana do Recife

A Região Metropolitana do Recife – RMR situa-se no centro da faixa litorânea Nordestina, com área de 2,766 km², está localizada na porção oriental a 8° 04' 03'' de latitude Sul e 34° 55' 00'' de longitude Oeste. A RMR configura uma faixa alongada no sentido norte-sul situado no litoral pernambucano sendo composta por 14 municípios, a saber, Abreu e Lima, Araçoiaba, Camaragibe, Cabo de Santo Agostinho, Igarassu, Ilha de Itamaracá, Ipojuca, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife e São Lourenço da Mata (Figura 1).

Figura 1: Localização geográfica das cidades da RMR.

A RMR congrega uma população de 3.690.485 habitantes, os quais representam cerca de 51% da população urbana e apenas 5,81% da população rural do Estado de Pernambuco (IBGE, 2010). Ainda de acordo com os estudos do IBGE (2010) a RMR é a 5º região mais populosa do Brasil, onde se concentram as maiores atividades urbanas do Estado, nos quais a grande maioria situa-se no polo central, Recife.

O desenvolvimento urbano da RMR, como ocorreu na maioria dos grandes centros, aconteceu sem um planejamento consistente até os anos 70, com taxa de crescimento de 4% ano entre as décadas de 40 a 80 (CPRM, 2001). A RMR apresenta uma taxa de urbanização de sua população superior a 90% e nos municípios de Recife e Olinda essa taxa é de 100%. O gráfico evidencia a evolução populacional em Pernambuco de acordo com os dados do IBGE para os anos censitários de 1872/2010 (Figura 2).

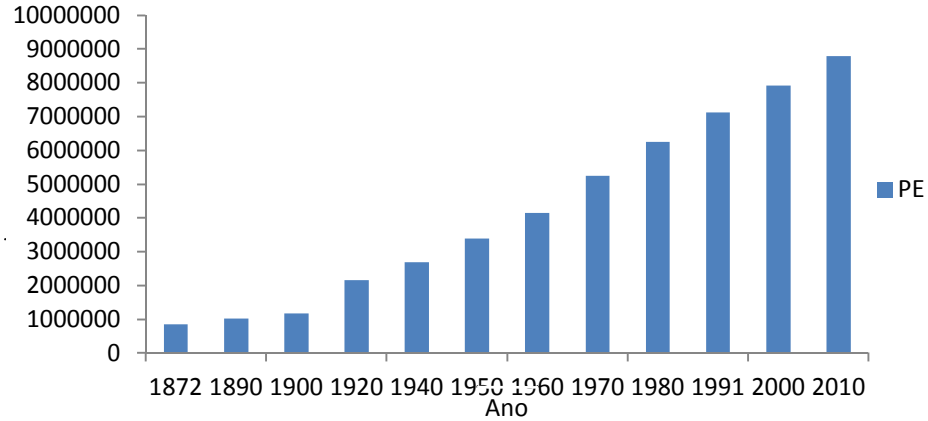

Figura 2 : População de Pernambuco nos Censos Demográficos

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 1872, 1890, 1900, 1920,1940, 1950, 1960,1970, 1980,1991, 2000 e Sinopse do Censo Demográfico de 2010.

Acrescido aos impactos ambientais provenientes da ocupação desordenada da RMR está a variabilidade climática da região com déficit de água. Os estudos da CPRM (2001) relatam que os baixos índices de chuvas, que nos anos de 1998 e 1999 levaram ao racionamento da água na região metropolitana, têm-se repetido ciclicamente, causando problemas no abastecimento da RMR o que levou a sobre-exploração da água subterrânea.

Em relação ao regime pluviométrico da região, nas áreas litorâneas são encontradas os totais anuais mais altos de aproximadamente 2.200 mm, revelando um excelente potencial aproveitável de águas pluviais. Os valores decrescem à

medida que se afastam do litoral até atingirem os valores mínimos de 1.200 mm nos limites da parte oeste do município de São Lourenço da Mata. O trimestre mais chuvoso, que engloba os meses de maio, junho e julho, concentra 47% dos totais anuais (CPRM, 2003).

Nos períodos chuvosos, entre março e agosto, os índices de escoamentos superficiais são mais altos, causando maiores riscos de falhas ao sistema de drenagem urbana da RMR. Assim, a captação de águas de chuvas viabilizaria o controle do escoamento superficial, aumentando o estoque de água nos lotes, gerando um controle distribuído ao longo das edificações particulares e equipamentos públicos. Nos meses de estiagem, em geral de outubro a janeiro, os cursos d'água reduzem consideravelmente suas vazões e o sistema de armazenamento de águas pluviais contribuiria mais uma vez suprindo a demanda de água para fins não nobres e no controle da demanda de água potável.

Outro enfoque do problema de suprimento da demanda de água na RMR é o altíssimo índice de desperdício da água distribuída à população, cerca de 45% (PINTO, 2006), o que exige que medidas urgentes sejam adotadas a fim de minimizar esta situação.

Esse contexto evidencia a necessidade de fontes alternativas para o suprimento da crescente demanda de água na RMR e a diminuição dos impactos ambientais da exploração dos recursos hídricos da área, bem como a minimização dos problemas urbanos provenientes da ação antrópica.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do trabalho é estimar o volume de reservatórios de águas pluviais para um fim não potável para as cidades da Região Metropolitana do Recife.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

♦ Comparar diferentes modelos de dimensionamento de reservatório de armazenamento de água de chuva considerados na NBR 15527/2007, a fim de otimizar a relação entre a disponibilidade da água da chuva e a demanda pela mesma na RMR para um fim não potável.

♦ Estimar o custo de implantação parcial de um sistema de armazenamento de água da chuva.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se os dados fornecidos pelo website da Agência Pernambucana de Águas e Climas – APAC (2013) referente às séries históricas de precipitações pluviométricas para 14 estações de monitoramento pluviométrico situadas na RMR. As séries foram tratadas, com auxílio do programa Microsoft Excel, selecionando-se as precipitações acumuladas mensais do período de 8 anos completos. Isto é, para cada uma das 14 estações, 8 anos de precipitações totais mensais foram calculadas e, posteriormente, retirada a média mensal, com exceção apenas das cidades de Araçoiaba e Ipojuca, com 3 e 6 anos, respectivamente, em razão de apresentarem séries históricas com grande quantidade de falhas que inviabilizaram sua completa utilização. As estações pluviométricas foram selecionadas em função de sua representatividade em relação às cidades da RMR (Abreu e Lima, Araçoiaba, Camaragibe, Cabo de Santo Agostinho, Igarassu, Ilha de Itamaracá, Ipojuca, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife e São Lourenço da Mata).

A Tabela 1 indica as características das estações de monitoramento das precipitações pluviométricas selecionadas para este trabalho.

Tabela 1: Características das estações pluviométricas selecionadas

Estação	Município	Nº de anos da série	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Abreu e Lima	Abreu e Lima	8	07º 54' 42"	34º 54' 10"	19
Araçoiaba (Granja Cristo Redentor)	Araçoiaba	3	07º 47' 25"	35º 05' 27"	160
Cabo de Santo Agostinho	Cabo de Santo Agostinho	8	08º 17' 12"	35º 02' 06"	29
Camaragibe	Camaragibe	8	08º 01' 18"	34º 58' 52"	55
Igarassu	Igarassu	8	07º 50' 03"	34º 54' 23"	19
Ipojuca	Ipojuca	6	08º 23' 56"	35º 03' 50"	10
Itamaracá	Itamaracá	8	07º 44' 52"	34º 49' 32"	3
Itapissuma	Itapissuma	8	07º 46' 35"	34º 53' 32"	7
Jaboatão dos Guararapes	Jaboatão dos Guararapes	8	08º 06' 46"	35º 00' 53"	76
Moreno	Moreno	8	08º 07' 07"	35º 05' 32"	96
Olinda (Alo da Bondade)	Olinda	8	08º 00' 32"	34º 51' 19"	16
Paulista	Paulista	8	07º 56' 27"	34º 52' 23"	13
Recife (Alto da Brasileira)	Recife	8	08º 03' 14"	34º 52' 52"	4

São Lourenço da Mata (Tapacurá)	São Lourenço da Mata	8	08º 00' 08"	35º 01' 06"	58

Para esse trabalho, a obtenção da parametrização do consumo adotou-se como referência uma residência unifamiliar, com um pavimento e área de coberta ou coleta (A) de 100 m², habitada por cinco pessoas. Considerou-se que as águas pluviais coletadas seriam utilizadas para descargas em bacia sanitária com caixa acoplada de 6 litros. Estimou-se ainda que cada habitante efetuaria, por dia, cinco acionamentos da caixa acoplada, perfazendo uma demanda diária de 150 litros. Adicionando-se, a esse volume, 7,5 litros por dia, correspondentes a perdas de 5% por vazamento. Foi obtida uma demanda total de 4,73 m³ de água da chuva por mês.

Para determinação do volume do reservatório de água de chuva, foram utilizados quatro diferentes métodos de cálculo recomendados pela NBR 15527/2007, que regem os requisitos para aproveitamento de águas pluviais em áreas urbanas, para fins não potáveis no país. Os métodos utilizados foram: o método de Rippl (R), o método Azevedo Neto (NA), o método Prático Alemão (PA) e o método Prático Inglês (PI). Além desses métodos, foram também utilizados, para fim de comparação, o método proposto por Fendrich (2002) e o método de Rippl combinado com a metodologia de Monte Carlo. A seguir são descritos brevemente os métodos de cálculo.

3.1 Método de Rippl (NBR 15527/2007)

Nesse método podem ser utilizadas as séries históricas de precipitação mensais ou diárias. O volume do reservatório deve ser determinado utilizando-se as seguintes expressões, sendo: $\Sigma D(t) < \Sigma Q(t)$.

$V = \Sigma S(t)$, somente para valores $S(t) > 0$;

$S(t) = D(t) - Q(t)$;

$Q(t) = C \times P \times A$;

onde:

V = volume do reservatório;

S(t) = volume de água no reservatório no tempo t;

D(t) = demanda ou consumo no tempo t;

Q(t) = volume de chuva aproveitável no tempo t;

C = coeficiente de escoamento superficial; Foi adotado o valor de 0,95 para telhados conforme Tucci (2003).

P = precipitação da chuva no tempo (t);

A = área de captação.

3.2 Método Azevedo Neto (NBR 15527/2007)

Nesse método o volume do reservatório pode ser determinado pela seguinte equação:

$V = 0,042 \times P \times A \times T$;

onde:

V = valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (L);

P = valor numérico da precipitação média anual, expresso em mm;

A = valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em m²;

T = valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca.

3.3 Método Prático Alemão (NBR 15527/2007)

Trata-se de um método empírico, no qual o volume a ser adotado para o reservatório deve ser 6% do menor valor entre V e D, ou seja:

$V_{adotado} = \min (V ; D) \times 0,06$;

onde:

$V_{adotado}$ = valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros;

V = valor numérico do volume anual aproveitável de água pluvial, expresso em litros;

D = valor numérico da demanda anual da água não potável, expresso em litros.

3.4 Método de Fendrich (Fendrich, 2002)

Fendrich (2002) desenvolveu estudo sobre a aplicabilidade da coleta, utilização e detenção das águas pluviais na bacia hidrográfica urbana do Rio Belém localizada no Município de Curitiba – PR. O estudo culminou com a determinação do coeficiente de escoamento superficial regional de Curitiba (Cr) para reservatórios

de detenção distribuída, tendo sido obtido o valor de 20,5 litros por metro quadrado de telhado, ou seja, Cr = 20,5 litros/m². Segundo Fendrich (2009) a determinação do volume dos reservatórios de detenção distribuída das águas pluviais, em Curitiba – PR deve ser calculada por meio da equação:

V = Cr x Ac;

onde:

V = capacidade do reservatório de detenção, em litros;

Cr = coeficiente de escoamento superficial regional de Curitiba (Cr = 20,5 litros/m²);

Ac = área de coleta das águas pluviais, em m².

3.5 Método Prático Inglês (NBR 15527/2007)

Nesse método o volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

V = 0,05 x P x A;

onde:

V = valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, expresso em litros (L);

P = valor numérico da precipitação média anual, expresso em mm;

A = valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em m².

3.6 Método de Monte Carlo

O método de Monte Carlo é um modelo estocástico que trabalha com simulações estatísticas de diferentes variáveis. No caso de se dimensionar reservatórios para o uso de água pluviais, o parâmetro geralmente utilizado é a precipitação. Pelo método de Monte Carlo, uma série histórica de alturas de precipitação (diárias ou mensais), é submetida a um modelo estocástico, de modo a se obter uma série de precipitações associadas a uma probabilidade de ocorrência (série sintética). Essa série sintética pode ser utilizada, então, como dado de entrada principal em um modelo de simulação. De acordo com Tomaz (2003), o método de Monte Carlo é executado em três fases: na primeira fase são determinados os dados de entrada (série histórica e série sintética de precipitações); na segunda fase são calculados os dados de saída, através de um modelo de simulação como, por exemplo, o método de Rippl; e na terceira fase são avaliados os dados de saída, em

geral por meio de um gráfico do tipo “Probabilidade de ocorrência da série sintética x Volume do reservatório” (Figura 3).

Quando o volume de um reservatório é determinado pelo método de Rippl da forma usual, ou seja, a partir da série de precipitações médias mensais, não fica determinada a probabilidade de utilização completa do volume desse reservatório; em outras palavras, resultam incertezas a respeito da suficiência ou insuficiência do mesmo, frente às precipitações que de fato ocorrerão. A vantagem da utilização do método de Rippl combinado com o método de Monte Carlo, é que são obtidos os valores dos volumes dos reservatórios associados às probabilidades de ocorrência das precipitações.

Figura 3: Esquema de aplicação do Método de Monte Carlo

Fonte: Adaptado de Tomaz (2003).

3.7 Método utilizado para orçamentos

Para a confecção dos orçamentos foi adotada a tabela de preços para contratação de obras e serviços, elaborada pela Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB) da Prefeitura do Recife, na versão de abril de 2011, para obtenção de custos unitários dos reservatórios em concreto armado. Para os demais materiais foram adotados preços fornecidos por fabricantes.

Tendo em mãos os custos unitários aplicáveis para cada situação e material, partiu-se para o levantamento de quantitativos para cada serviço especificado, conforme tabela da EMLURB :

- Escavação manual sem escoramento;
- Lastro de piso com 5 cm de espessura;
- Concreto armado pronto, fck de 25 MPa condição A (NBR 12655), lançado em fundações e adensado, inclusive forma, escoramento e armação;

- Impermeabilização com aplicação diretamente na estrutura de um composto de cimentos impermeabilizantes e selador especiais;
- Piso cimentado de argamassa de cimento e areia no traço 1:3, com 2,0 cm de espessura e com acabamento liso
- Emboço com argamassa de cal preta em pasta e areia no traço1:4, dosada com 110 kg de cimento com 2 cm de espessura.

Para os itens que estabelecem espessuras, quando foram necessárias espessuras maiores, multiplicou-se as quantidades do referido item pela relação entre espessura real e espessura do item.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a utilização do método de Rippl, foram calculadas as precipitações médias mensais, para o período de 8 anos completos, referentes a cada uma das 14 estações selecionadas (Tabela 2).

Tabela 2: Precipitações médias mensais (mm) para o período de 8 anos completos.
Fonte: Adaptado da ANA (2013).

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Abreu e Lima	84,58	110,65	135,05	202,91	266,60	410,16	230,39	168,31	65,86	19,79	9,54	27,66
Araçoiaba (Granja Cristo Redentor)	23,00	127,10	148,43	148,10	164,47	200,03	80,90	104,10	48,50	0,33	22,77	38,87
Cabo de Santo Agostinho	120,48	66,83	161,19	189,74	185,30	345,78	250,19	145,01	91,83	31,19	31,53	47,84
Camaragibe	111,98	128,29	139,26	238,54	348,30	410,99	299,81	211,68	67,55	32,09	40,76	52,34
Igarassu	99,45	106,30	115,79	255,16	287,68	360,83	256,41	170,66	62,10	33,29	18,48	42,68
Ipojuca	157,65	143,17	216,55	286,85	350,95	389,93	334,45	239,23	70,30	54,12	23,35	48,70
Itamaracá	75,85	66,90	105,74	193,84	277,28	330,16	208,35	178,60	41,66	31,15	15,13	30,48
Itapissuma	101,44	100,98	134,48	236,38	312,45	377,86	253,59	194,75	56,35	37,20	19,94	34,56
Jaboatão dos Guararapes	97,69	96,61	121,86	259,70	337,55	394,80	249,78	180,73	52,10	31,65	20,14	43,61
Moreno	60,31	37,54	98,49	136,43	142,24	282,60	228,04	118,05	71,59	38,01	22,21	28,64
Olinda (Alto da Bondade)	98,23	113,60	129,76	243,13	256,53	359,06	270,86	152,06	65,68	23,19	22,50	35,14
Paulista	94,15	106,16	131,31	295,54	327,09	403,03	265,18	212,03	52,74	36,50	19,69	48,91
Recife (Alto da Brasileira)	93,73	90,19	129,88	194,11	290,51	392,11	269,34	204,05	60,38	27,96	31,34	58,61
São Lourenço da Mata (Tapacurá)	75,83	78,80	97,59	168,63	191,96	298,81	184,61	128,65	36,14	23,16	20,16	46,61

Para aplicação dos métodos Azevedo Neto (AN), Prático Alemão (PA) e Prático Inglês (PI), foram determinados os valores das precipitações médias anuais,

no mesmo período e nas mesmas estações. Esses valores são apresentados na Tabela 3, onde também constam os desvios padrões anuais e os números médios de meses de estiagem.

Tabela 3: Precipitações médias anuais (mm), desvio padrão anual e número médio de meses de estiagem, para o período de 8 anos completos.

Estação	Precipitação média anual (mm)	Desvio padrão anual (mm)	Nº médio de meses de estiagem
Abreu e Lima	1731,50	458,30	6,13
Araçoiaba (Granja Cristo Redentor)	1106,60	239,14	8,00
Cabo de Santo Agostinho	1666,88	703,12	6,25
Camaragibe	2081,58	417,44	5,13
Igarassu	1808,81	386,78	5,50
Ipojuca	2315,25	515,01	4,50
Itamaracá	1555,13	260,41	6,50
Itapissuma	1859,96	396,99	5,75
Jaboatão dos Guararapes	1886,21	507,26	5,88
Moreno	1264,14	788,55	7,13
Olinda (Alo da Bondade)	1769,73	463,42	5,63
Paulista	1992,31	448,80	5,38
Recife (Alto da Brasileira)	1842,20	243,53	5,25
São Lourenço da Mata (Tapacurá)	1350,95	239,47	6,88

Observa-se na Tabela 3 que a cidade de Ipojuca é a que detêm a maior média de precipitação anual, o que se deve a sua proximidade ao oceano por ser uma cidade litorânea. Verifica-se, ainda, que as cidades de Araçoiaba, Moreno e São Lourenço da Mata apresentam as mais baixas precipitações médias anuais em torno de 1200 mm. Além disso, para as cidades de Araçoiaba e São Lourenço da Mata, os desvios padrões anuais são muito próximos.

Foram considerados como meses de estiagem aqueles cujo o total mensal precipitado era inferior a 100 mm. O valor de 100 mm foi escolhido para o limite mínimo mensal por considera-lo valor razoável tendo em vista as características pluviométricas da região.

4.1 Método de Rippl

Após o cálculo das precipitações médias mensais, foram determinados os volumes captados, em todas as cidades, para a área correspondente ao telhado (100 m²). A Tabela 4 resume os valores dos volumes dos reservatórios obtidos para cada cidade pelo método de Rippl, observa-se que o volume mínimo necessário para armazenamento (volume do reservatório) é menor para as cidades de Camaragibe e Ipojuca do que para as demais cidades. Isso se deve ao fato de que a relação entre o volume de oferta (que é função das características de distribuição temporal das chuvas) e o volume de demanda é menor nessas cidades que nos municípios de Camaragibe e Ipojuca. Assim, nessas cidades, pela abordagem do próprio método de Rippl, há necessidade de maiores volumes para armazenamento. É possível observar que em função de todas as estações pluviométricas estudadas pertencerem a RMR, onde o regime de precipitações se distribui de forma praticamente homogênea, não há grande variância dos resultados obtidos para os volumes do reservatório, cujo desvio padrão para método Rippl foi de 2,40 m³.

Tabela 4: Volumes (m³) calculados para os reservatórios, de acordo com os métodos avaliados

Estação	Rippl	Azevedo Neto	Prático Alemão	Prático Inglês	Fendrich	Monte Carlo/Rippl*
Abreu e Lima	8,78	44,54	3,41	8,66	2,05	10,39
Araçoiaba (Granja Cristo Redentor)	10,97	37,18	3,41	5,53	2,05	14,21
Cabo de Santo Agostinho	3,69	43,76	3,41	8,33	2,05	11,11
Camaragibe	2,54	44,81	3,41	10,41	2,05	6,77
Igarassu	5,22	41,78	3,41	9,04	2,05	9,88
Ipojuca	2,62	43,76	3,41	11,58	2,05	5,62
Itamaracá	7,67	42,45	3,41	7,78	2,05	14,59
Itapissuma	5,48	44,92	3,41	9,30	2,05	11,17
Jaboatão dos Guararapes	5,13	46,54	3,41	9,43	2,05	12,48
Moreno	6,91	37,83	3,41	6,32	2,05	22,06
Olinda (Alo da Bondade)	6,51	41,81	3,41	8,85	2,05	9,99
Paulista	4,21	44,98	3,41	9,96	2,05	11,59
Recife (Alto da Brasileira)	3,83	40,62	3,41	9,21	2,05	10,00

São Lourenço da Mata (Tapacurá)	6,94	39,01	3,41	6,75	2,05	14,53
Média	5,75	42,43	3,41	8,65	2,05	11,74
Desvio padrão	2,40	2,88	0,00	1,63	0,00	3,95

*Volume referente a uma probabilidade de ocorrência de precipitação de 75%

A relação oferta (volume captado) x demanda, para cada uma das cidades selecionadas, é apresentada nas figuras de 4 a 17. Verifica-se que a oferta de água pluvial na RMR, em cada um dos meses no intervalo compreendido entre janeiro e agosto, é em geral muito superior a demanda mensal adotada neste trabalho (4,73 m³). Isso significa que o armazenamento de água para fins não potáveis pode ser ampliado em face da elevada oferta disponibilizada pelo regime de precipitação local. O método de Rippl determina, portanto, o volume mínimo relativo a uma determinada demanda, podendo o usuário atender a uma demanda maior, mediante o aumento de sua área de captação e do volume do reservatório.

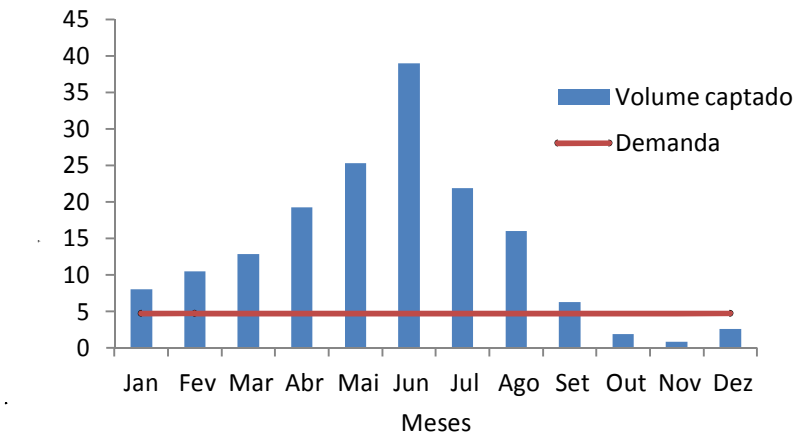

Figura 4: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Abreu e Lima.

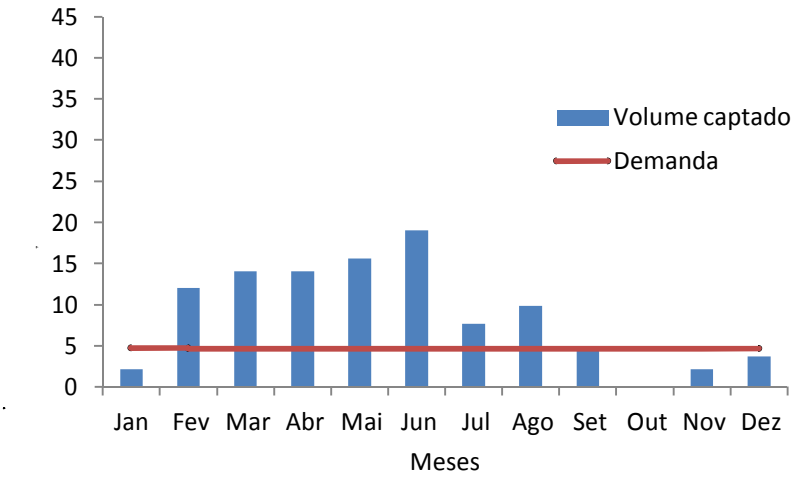

Figura 5: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Araçoiaba.

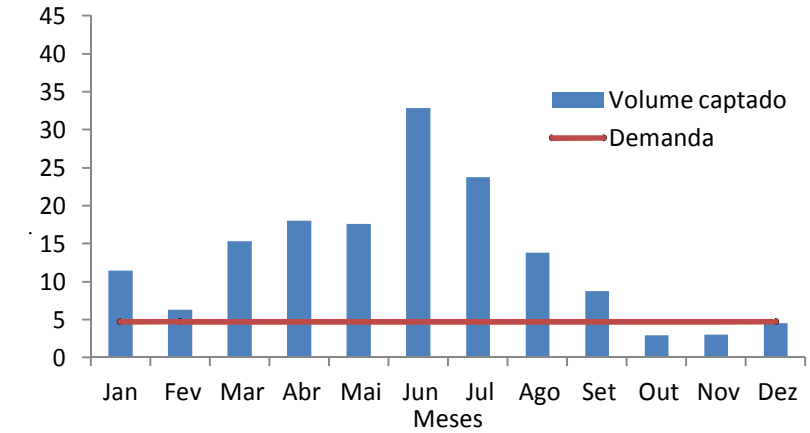

Figura 6: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Cabo de Santo Agostinho.

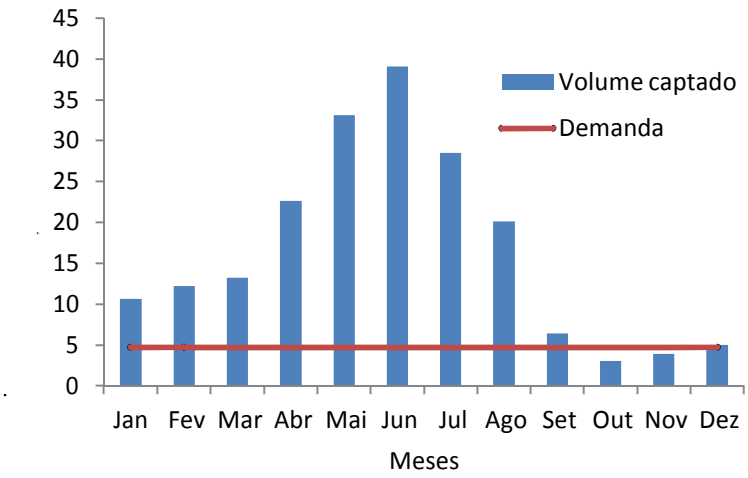

Figura 7: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Camaragibe.

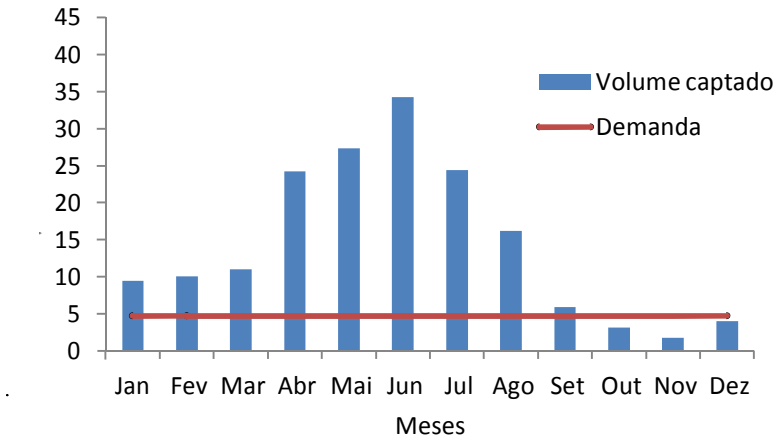

Figura 8: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Igarassu.

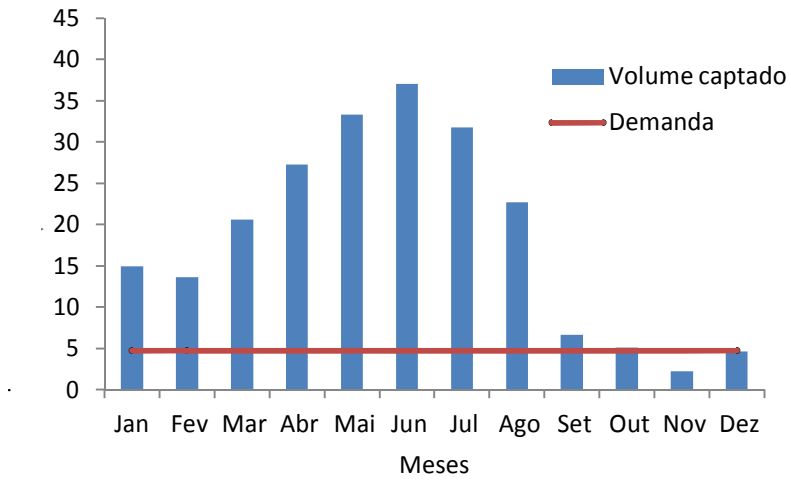

Figura 9: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Ipojuca.

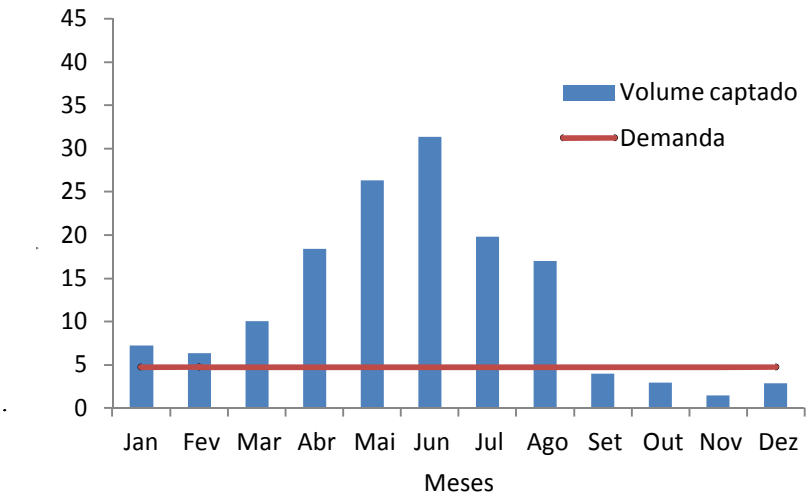

Figura 10: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Itamaracá.

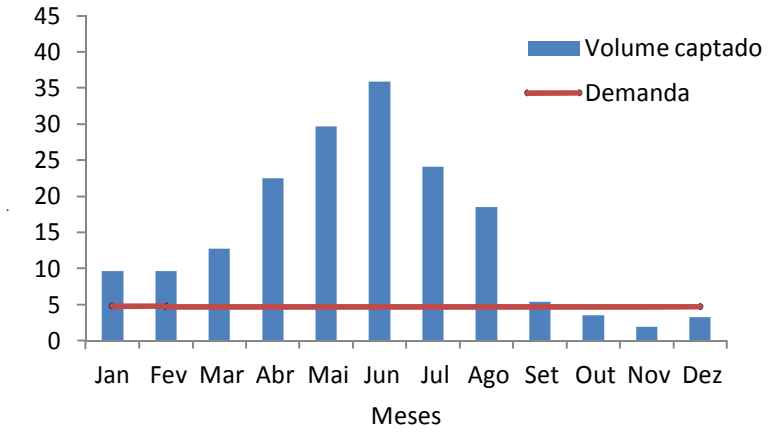

Figura 11: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Itapissuma.

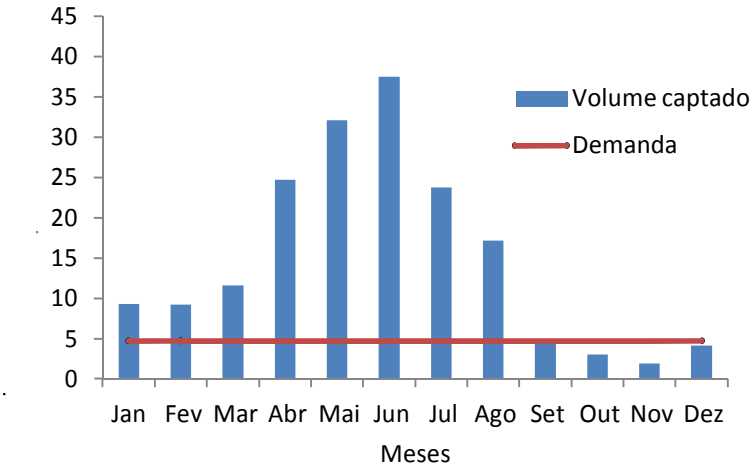

Figura 12: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Jaboatão dos Guararapes.

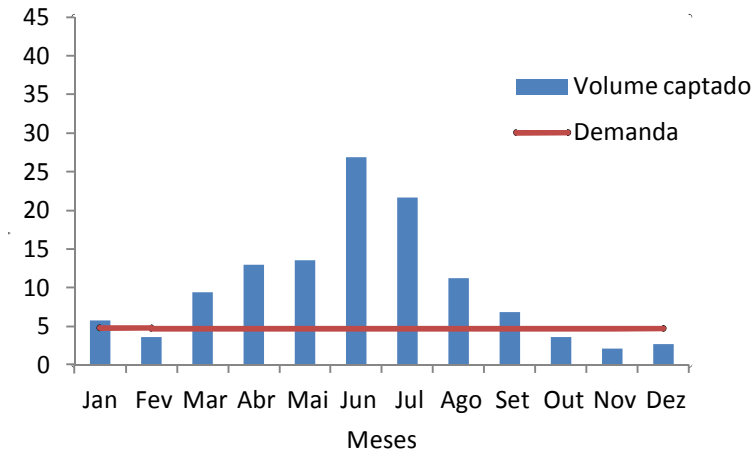

Figura 13: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Moreno.

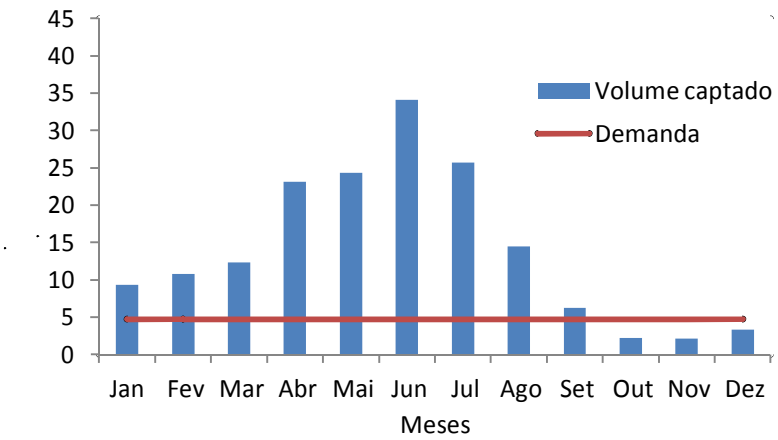

Figura 14: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Olinda.

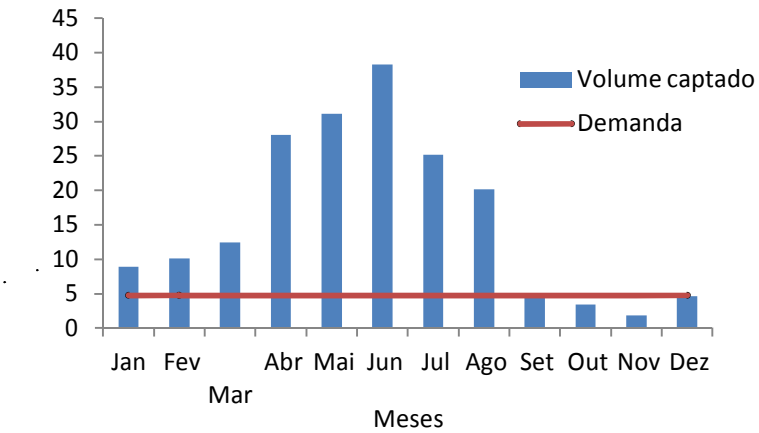

Figura 15: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Paulista.

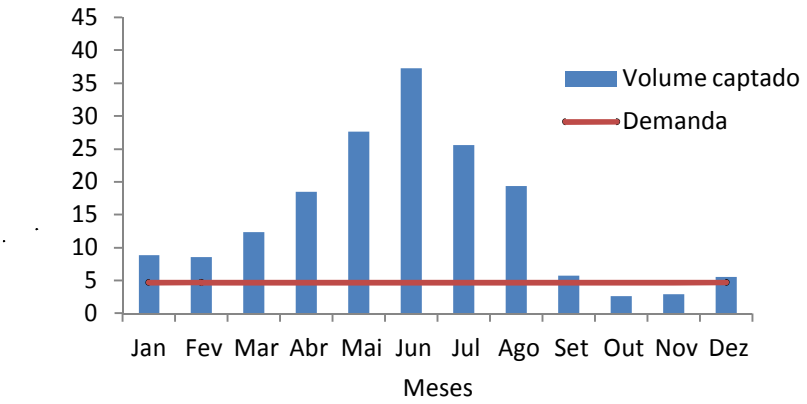

Figura 16: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Recife.

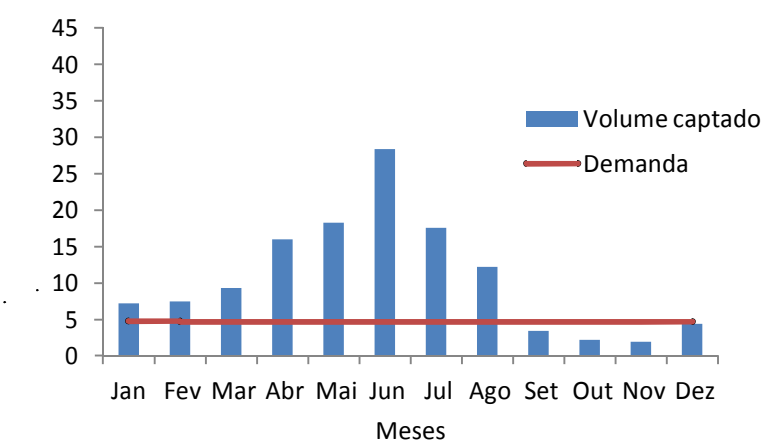

Figura 17: Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de São Lourenço da Mata.

4.2 Método Azevedo Neto

O método AN apresentou os maiores volumes de reservatórios, em todas as cidades com volumes variando de 37,18 a 46,54 m³ (Tabela 4). Isto deve-se ao fato de que o método utiliza o valor de precipitação média anual, que para as cidades da RMR é, em geral, acima dos 1500 mm. Além disso, as cidades se caracterizam por apresentarem mais de 5 meses de estiagem, favorecendo os altos valores volumétricos obtidos pelo método de AN.

4.3 Método Prático Alemão

A demanda anual de água para fins não potáveis foi fixada em 56.760 litros. Esse volume é inferior ao volume anual de água aproveitável, no caso de todas as cidades da RMR estudadas neste trabalho. Portanto, pelo método PA, para essas cidades o volume do reservatório foi definido como sendo 6% de 56.760 litros, ou 3.402 litros.

4.4 Método Prático Inglês

De acordo com o método PI, o volume do reservatório é diretamente proporcional à precipitação média anual das cidades, resultando em volumes maiores nas cidades com maior média de precipitação – Camaragibe e Ipojuca. Além disso, nas cidades com maior necessidade hídrica de armazenamento, como Araçoiaba e São Lourenço da Mata (Figuras 5 e 17), o método determina volumes de reservatórios menores que nas cidades com maior disponibilidade hídrica. Tal

fato pode gerar problemas de abastecimento (para fins não potáveis) nessas regiões, nos períodos de estiagem, uma vez que o método PI não leva em consideração a demanda.

4.5 Método de Fendrich

Ao contrário do Método AN, a metodologia proposta por Fendrich (2002) resultou, em todas as cidades, nos menores valores para o volume armazenado: 2,05 m³, resultado próximo aos obtidos pelo método Prático Alemão (Tabela 4). Como o método de Fendrich representa o produto da área de captação por um coeficiente de escoamento superficial (20,5 L/m²), determinado para a bacia do rio Belém, no estado do Paraná, é de se esperar que este método apresente discrepâncias quando utilizado numa região como o Nordeste, cujas características climatológicas e pluviográficas diferem bastante daquelas para as quais o coeficiente foi determinado.

4.6 Método de Monte Carlo

Para a aplicação desse método, foram determinadas as séries sintéticas de precipitação, para os meses de janeiro a dezembro, a partir das séries históricas mensais de precipitação dos municípios da RMR. Em seguida, para probabilidades de ocorrência da precipitação de 5 a 95%, foram determinados os volumes dos reservatórios, utilizando-se como modelo o Método de Rippl e considerando-se uma demanda mensal constante no valor de 4,73 m³.

Para precipitações com 95% de chance de ocorrer, ou seja, para chuvas bastante frequentes (que são as precipitações com total mensal baixo), há necessidade de armazenamento de água de chuva de aproximadamente 34,14 m³ para a cidade de Moreno (Figura 18), que é a segunda cidade com menor média anual de precipitação (Tabela 3). Por outro lado, para a cidade de Ipojuca, observa-se que a aplicação do Método de Rippl para chuvas frequentes resulta em reservatórios com volume de, no mínimo, 8,74 m³. Como o regime pluviométrico em Ipojuca se mostrou mais intenso que nas demais cidades, existe a possibilidade de um aproveitamento bem maior. Nas demais cidades da RMR a dimensão do reservatório variou pouco com média de cerca de 19 m³ de volume. No entanto, outros fatores como a análise econômica da relação entre o custo da construção do

reservatório e o benefício da conservação da água com o aproveitamento, devem ser observados.

Na Figura 18, pode-se verificar, também, que os volumes dos reservatórios obtidos com o método de Rippl (Tabela 4), em geral correspondem a probabilidades de ocorrência das precipitações inferiores a 50% : 45% (Recife); 57,5% (Olinda); 35% (Ipojuca); e 48% (Moreno); são exemplos aproximados. Esses percentuais mostram que a utilização de valores médios de precipitação como dados de entrada nesse método, resultam em subestimativa dos volumes dos reservatórios. Com relação às probabilidades de séries sintéticas, os volumes dos reservatórios, nas cidades estudadas, variam de 5,62 m³, em Ipojuca, a 22,06 m³, em Moreno.

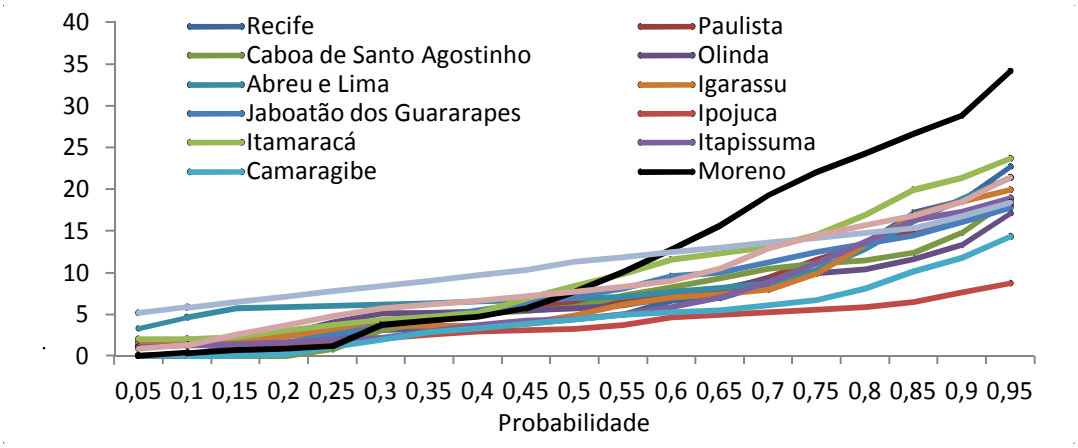

Figura 18: Aplicação do método de Monte Carlo para as cidades da RMR.

Adotando - se como referência o método de Monte Carlo/Rippl, para cada um dos demais métodos foi calculada a probabilidade de falha do volume de reservatório determinado. A partir dos volumes obtidos de cada cidade para cada método foi realizada uma interpolação dos valores a partir da escala de Monte Carlo/Rippl, obtendo-se teoricamente o risco de falha do volume de reservatório calculado por cada um dos métodos (Tabela 5).

Tabela 5: Probabilidades associadas aos volumes dos métodos Azevedo Neto, Prático Alemão, Prático Inglês e Fendrich.

Estação	Azevedo Neto	Prático Alemão	Prático Inglês	Fendrich
Abreu e Lima	-	-	69,56	-
Araçoiaba (Granja Cristo Redentor)	-	-	7,49	-
Cabo de Santo Agostinho	-	30,00	60,27	27,64
Camaragibe	-	37,50	85,60	30,38
Igarassu	-	25,43	72,78	15,84
Ipojuca	-	44,21	-	28,90
Itamaracá	-	20,74	47,88	10,00
Itapissuma	-	36,15	70,84	26,77
Jaboatão dos Guararapes	-	27,65	59,58	22,29
Moreno	-	28,78	46,38	26,62
Olinda (Alo da Bondade)	-	21,85	68,33	18,07
Paulista	-	21,48	71,21	13,74
Recife (Alto da Brasileira)	-	30,00	71,90	23,84
São Lourenço da Mata (Tapacurá)	-	17,51	40,51	12,88

A interpretação dos valores da Tabela 5 pode ser exemplificada como a seguir:

- Um reservatório com 17% de P significa que ele possui um volume correspondente a uma precipitação de com 17% de probabilidade ser igualada ou superada.

- Uma chuva com 17% de chance de ser igualada ou superada é uma precipitação rara e, portanto, com valor elevado. Isso faz com que o volume a ser armazenado por Rippl seja pequeno já que, de acordo com o método: diminuindo – se a probabilidade, a chuva aumenta e o volume armazenado diminui.

Isso significa que o reservatório vai verter o excesso de volume quando submetido a chuvas frequentes (P>=75%), ou seja, chuvas que possuem uma maior chance de ocorrência. Sendo assim, se P < 75%, o reservatório possui volume insuficiente para atender chuvas de menor altura de precipitação (chuvas frequentes). Mas se P >= 75%, o reservatório possui volume suficiente para atender as chuvas frequentes de menor valor de precipitação.

O método de Azevedo Neto mostrou incompatibilidade com os valores de volumes de reservatórios do método de referência e nenhuma das cidades estudadas da RMR ficaram dentro das margens de probabilidade. O mesmo ocorreu ainda com alguns volumes de reservatórios calculados pelos demais métodos.

4.7 Análise de falha do reservatório

Após a análise dos resultados das metodologias aplicadas às séries históricas de precipitação das cidades da RMR, os estudos concentraram-se em verificar a relação existente entre o volume do reservatório de armazenamento de água pluvial e o número dias ao longo de um ano completo em que a demanda por água supera o volume armazenado, isto é, o número de dias de falha do reservatório.

O estudo consistiu no cálculo do balanço hídrico diário do reservatório pluvial: o volume de chuva armazenado por dia durante os 365 dias de um ano foi obtido multiplicando-se a área de captação (100 m²) pela precipitação diária; a demanda diária no valor de 0,158 m³/dia foi obtida pela divisão da demanda mensal pela média de dias de um mês; e admitindo-se cheio o reservatório, foi possível fazer a diferença diária entre o volume que abastece e o que é consumido do reservatório. Assim, sempre que o valor armazenado não foi suficiente para suprir o valor demandado, valor menor que zero, contabilizou-se um dia de falha.

Para cada uma das cidades em questão foi elaborado um gráfico que relaciona o volume do reservatório em m³ e o número de dias em que o reservatório falha (Figuras 19 a 32). Os gráficos permitem maior facilidade na tomada de decisão do construtor quando na escolha do volume de reservatório mais apropriado para o seu empreendimento em função da sensibilidade de falha hídrica para àquela cidade.

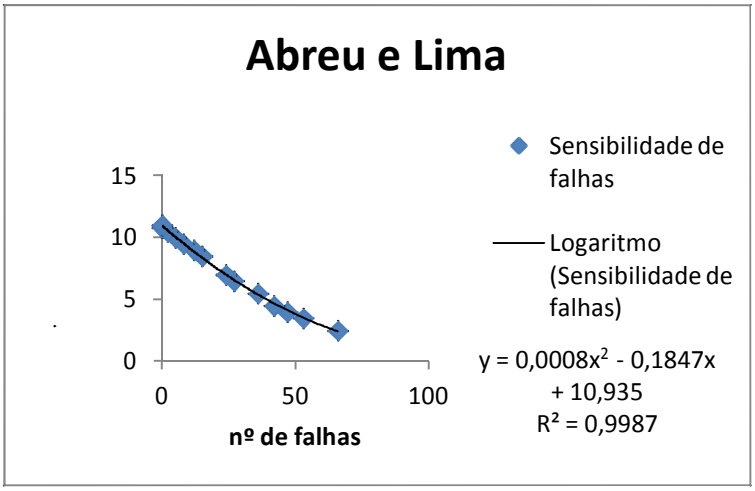

Figura 19: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Abreu e Lima.

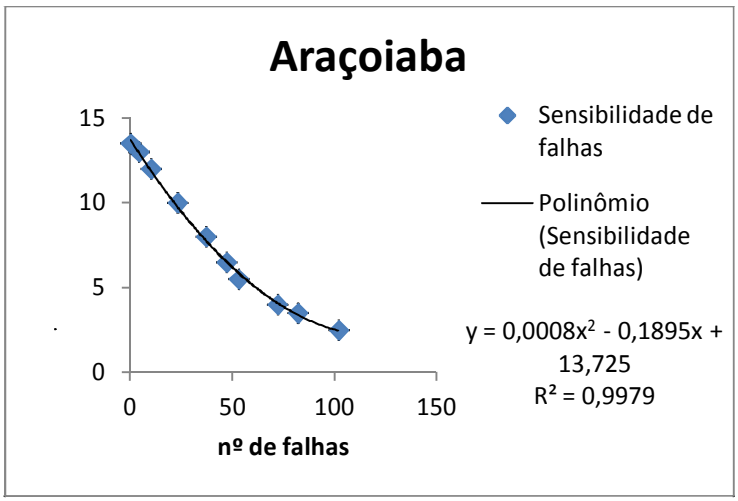

Figura 20: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Araçoiaba.

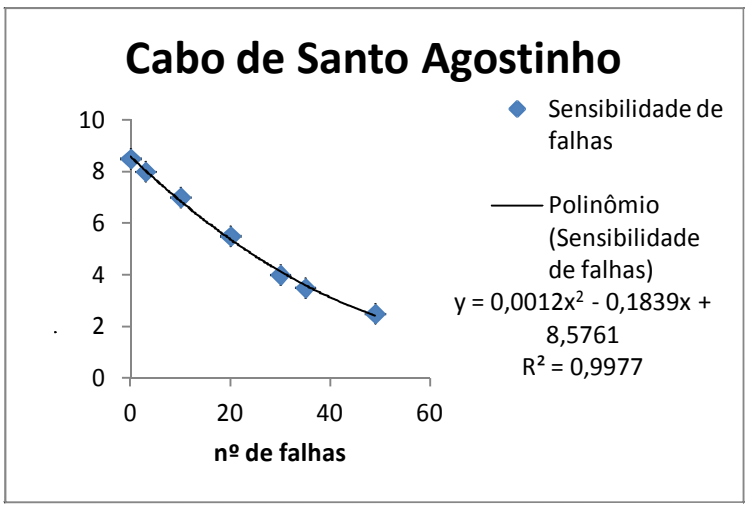

Figura 21: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Cabo de Santo Agostinho.

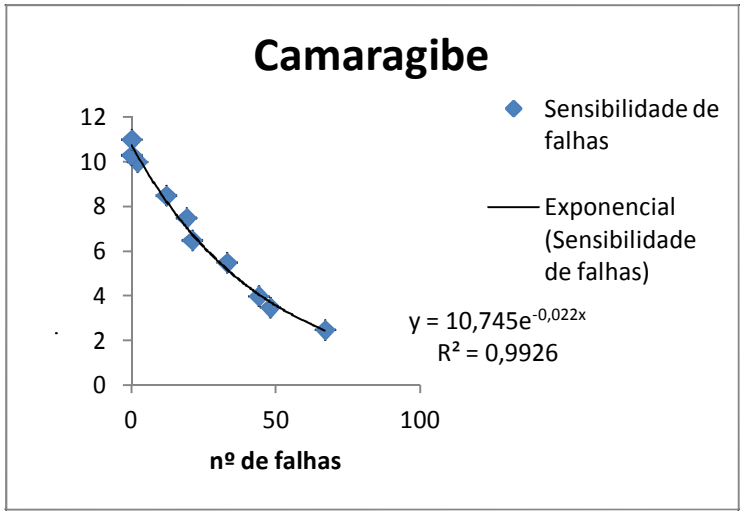

Figura 22: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Camaragibe.

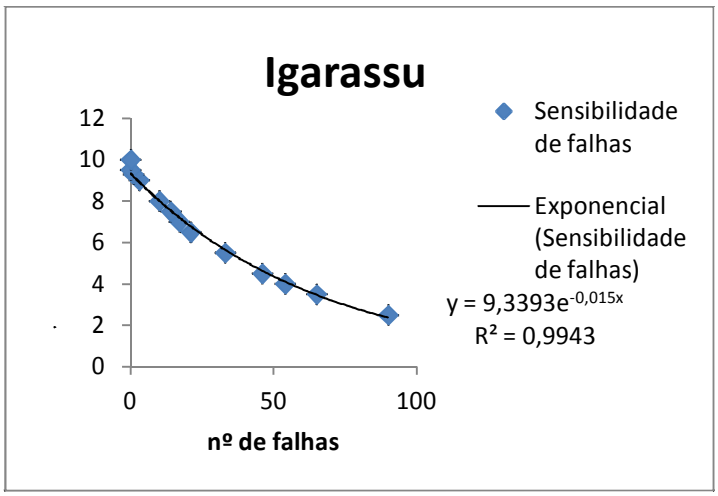

Figura 23: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Igarassu.

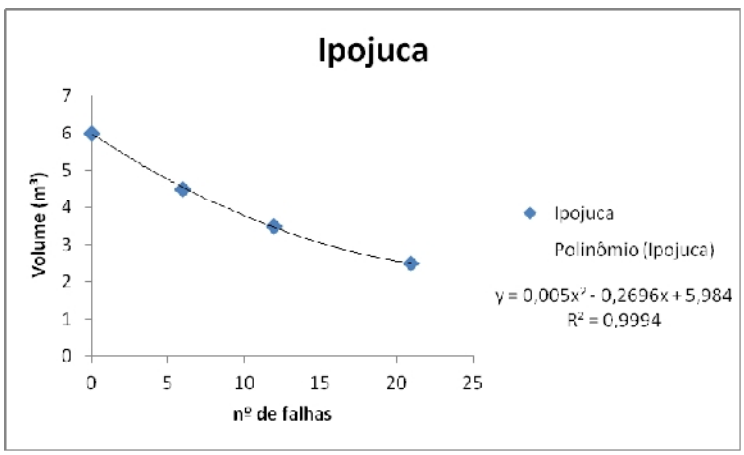

Figura 24: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Ipojuca.

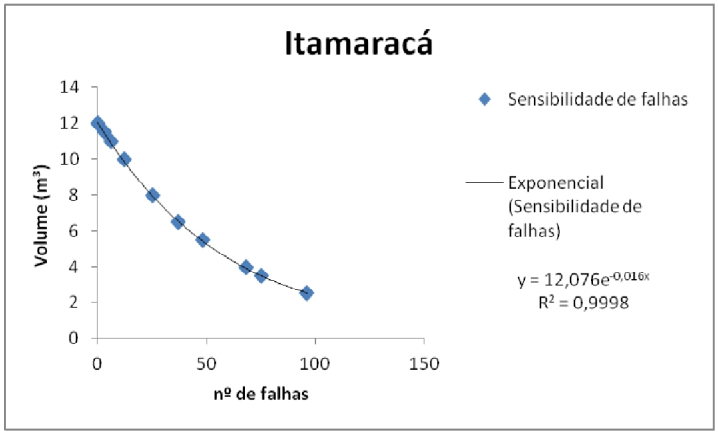

Figura 25: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Itamaracá.

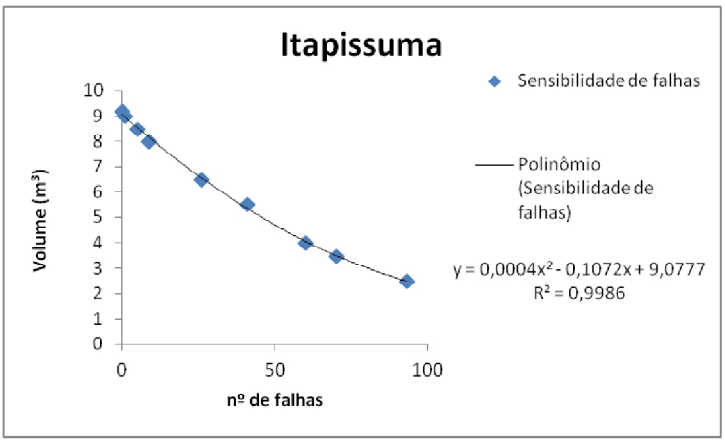

Figura 26: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Itapissuma.

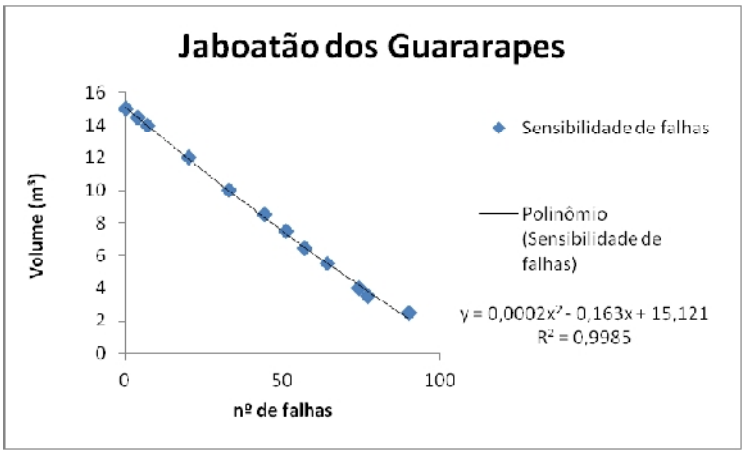

Figura 27: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Jaboatão dos Guararapes.

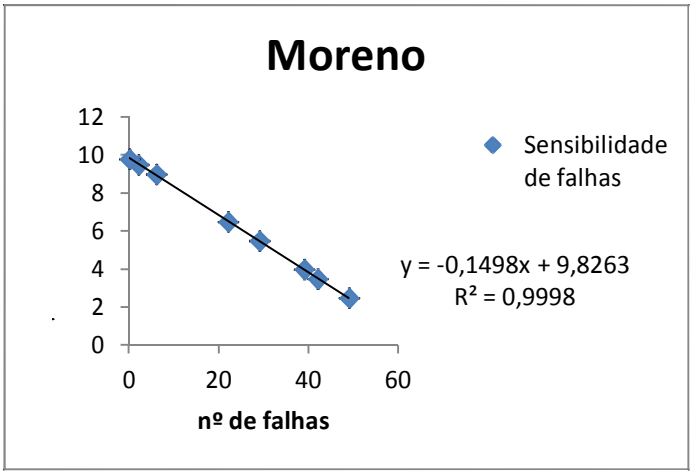

Figura 28: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Moreno.

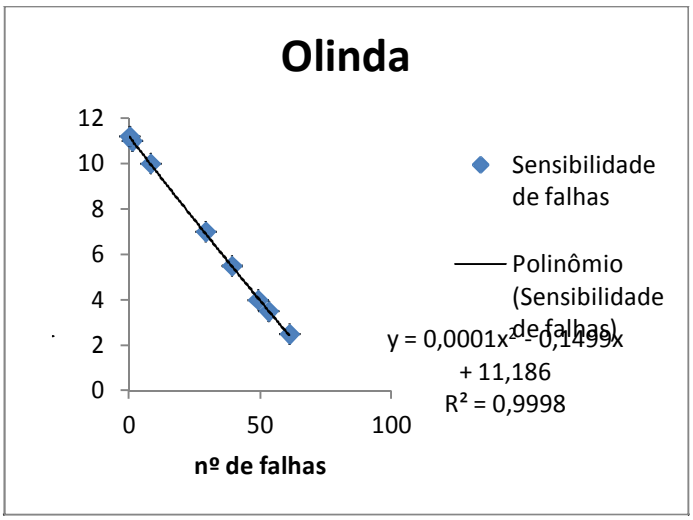

Figura 29: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Olinda.

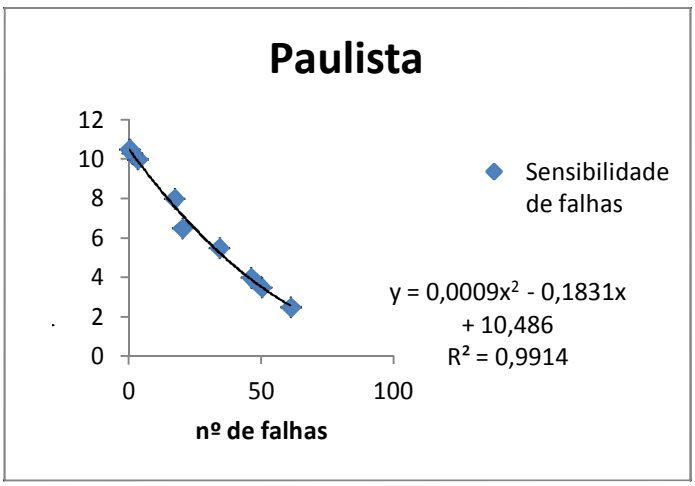

Figura 30: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Paulista.

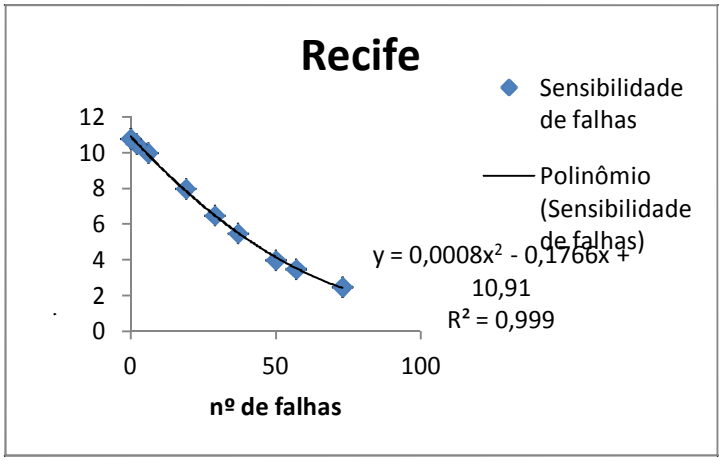

Figura 31: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do Recife.

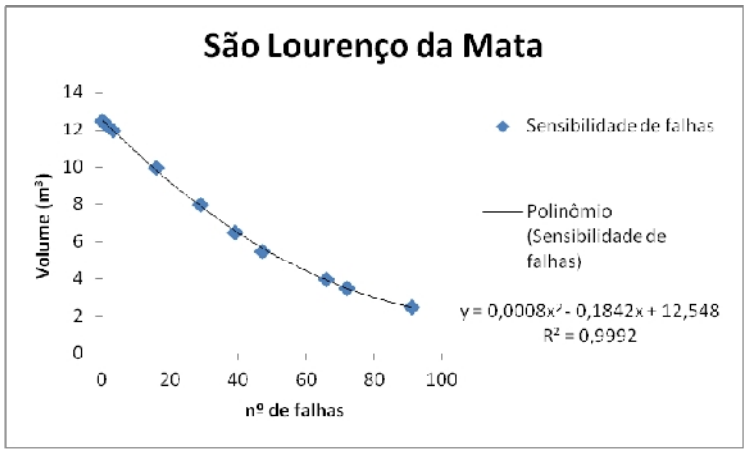

Figura 32: Relação entre Volumes dos reservatórios (m³) x nº de falhas (dias), para a cidade do São Lourenço da Mata.

O comportamento das curvas se assemelha, como era de se esperar, o volume do reservatório é inversamente proporcional ao número de dias de falha para a demanda mantida fixa no valor de 0,158 m³/dia.

A cidade de Ipojuca apresentou o menor volume mínimo de reservatório necessário para suprir o consumo proposto, apenas 6 m³. Além de baixo número de dias de falha mesmo para reservatórios bastante pequenos, isto é, cerca de 21 dias de déficit para uma cisterna de 2,5 m³. Isto deve-se ao fato de que esta cidade é a que apresenta maiores volumes de precipitação para a série de dados utilizada.

Em contra partida, as demais cidades para suprirem os 365 dias de um ano utilizando apenas água pluvial para as descargas sanitárias, em média, necessitariam de um volume mínimo de 11 m³. A cidade de Jaboatão dos Guararapes obteve o maior volume mínimo de reservatório com 15 m³ de água.

4.8 Sugestão de aplicação

Como a RMR apresenta praticamente o mesmo regime pluviométrico em toda a sua delimitação e a fim de facilitar a implantação do sistema de armazenamento de águas pluviais, é viável a utilização de um valor volumétrico constante para os reservatórios de todas as cidades estudadas. Foram calculados os valores médios de volumes dos reservatórios para cada um dos métodos utilizados no trabalho, os resultados variaram de 2,05 a 42,43 m³.

Foi escolhido o método de Rippl para o valor médio de volume do reservatório a ser utilizado na RMR quando na aplicação do sistema de armazenamento de água da chuva por se tratar de um método que leva em consideração tanto a quantidade de água escoada na superfície de captação quando a demanda por água para fins não potáveis no mesmo intervalo de tempo. Além disso, esse método garante o valor do reservatório mínimo necessário para que haja abastecimento de água pluvial durante o período de estiagem. Assim, o valor sugerido para o volume dos reservatórios a serem implantados nas cidades é 6 m³.

O reservatório de armazenamento da água pluvial é o investimento mais significativo num sistema de aproveitamento de água da chuva, portanto é necessário que antes da sua construção o usuário esteja ciente das decisões acerca da sua capacidade, da sua melhor localização e da seleção do material.

A capacidade do reservatório, para fins práticos, foi adotada no valor de 6 m³ para toda a RMR. Esse volume adotado foi obtido da média dos valores de volumes requeridos pelo método de Rippl para todas as cidades estudadas.

Quanto a localização dos reservatórios, para comparações posteriores, foram estudadas três possibilidades: reservatório enterrado, semi-enterrado e elevado. As instalações acima do solo evitam custos associados com a escavação e com certas questões de manutenção, já os reservatórios abaixo do solo beneficiam-se de temperaturas mais baixas, submetidos a menor exposição ao sol, diminuindo a possibilidade de proliferação de algas e/ou outros micro-organismos que afetam a qualidade da água armazenada. Outros fatores devem ser observados antes da escolha do local de implantação do reservatório, como a eficiência do abastecimento, tipo de utilização da água do reservatório e facilidade de acesso.

O material escolhido para o reservatório da armazenamento de água pluvial deve ter como principais características durabilidade, estanqueidade em relação ao exterior, ser liso no interior e selado com juntas de material não tóxico. A laje ou

tampa de cobertura precisa ser estanque para prevenir a evaporação da água e a criação de mosquitos, e para preservar o reservatório da entrada de objetos ou animais indesejáveis.

4.8.1 Reservatório em concreto armado

Os reservatórios de concreto armado podem ser construídos acima ou abaixo do solo, e caracterizam-se por serem robustos e de longa duração. São habitualmente construídos *in situ* e por esta razão podem ser projetados para satisfazer as exigências particulares de cada local específico, mas os reservatórios de concreto também podem ser constituídos por componentes pré-fabricadas.

O concreto é um material estável e duradouro, mas a fissuração é inevitável, podendo ocorrer vazamentos. Estes devem ser controlados periodicamente, principalmente nos reservatórios enterrados. Em geral, existe ainda o inconveniente de resultar em elementos com maiores dimensões que reservatórios de outros materiais, e seu peso específico elevado, acarreta um peso próprio muito grande, limitando seu uso em determinadas situações ou elevando bastante seu custo. A pior desvantagem do uso desse material é a difícil execução de reformas e adaptações.

Na elaboração do orçamento proposto neste estudo foram levantados quantitativos dos serviços e multiplicados pelos respectivos preços unitários propostos na Tabela de preços para contratação de obras e serviços de engenharia de 2011 – da Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB) da Prefeitura do Recife.

Nas tabelas 6,7 e 8 estão resumidos os orçamentos para um reservatório de 6 m³ de volume em concreto armado, incluindo escavação, forma, equipamentos, impermeabilização, revestimentos e mão de obra necessários a sua execução em três situações diferentes, enterrado (tabela 6), semi – enterrado com 1 metro enterrado (tabela 7) e elevado (tabela 8). Para levar em consideração possíveis perdas e/ou desperdício, foi acrescido em cada quantitativo o equivalente a 6%.

Tabela 6: Orçamento para reservatório enterrado em concreto armado

SERVIÇO	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	TOTAL (R$)
Escavação manual com profundidade de 2,17 m sem escoramento	m³	17,3	23,29	402,92
Lastro de piso com 5cm de espessura em concreto 148	m²	8	19,7	157,6
Concreto armado pronto, fck 25 Mpa condição a (nbr 12655), lançado em fundações e adensado inclusive forma, escoramento e armação	m³	2,6	1177,8	3.062,28
Impermeabilização com aplicação diretamente na estrutura de um composto de cimentos impermeabilizantes e selador especiais	m²	17	38,56	655,52
Piso cimentado com argamassa de cimento e areia no traco 1 3, com 2,0 cm de espessura, e com acabamento liso	m²	5,3	21,05	111,57
				Σ 4.389,88

Tabela 7: Orçamento para reservatório semi-enterrado em concreto armado

SERVIÇO	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	TOTAL (R$)
Escavação manual com profundidade de 1,5 m sem escoramento	m³	11,9	23,29	277,15
Lastro de piso com 5 cm de espessura em concreto 148	m²	8	19,7	157,6
Concreto armado pronto, fck 25 MPa condição a (NBR 12655), lançado em fundações e adensado inclusive forma, escoramento e armação.	m³	2,6	1177,8	3.062,28
Impermeabilização com aplicação diretamente na estrutura de um composto de cimentos impermeabilizantes e seladores especiais.	m²	17	38,56	655,52
Emboço com argamassa de cal preta em pasta e areia no traço 1:4, dosada com 110 kg de cimento com 2cm de espessura	m²	12,7	16,36	207,77

Piso cimentado com argamassa de cimento e areia no traco 1 3, com 2,0 cm de espessura, e com acabamento liso	m²	5,3	21,05	111,57
			Σ	**4.471,89**

Tabela 8: Orçamento para reservatório elevado em concreto armado

SERVIÇO	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	TOTAL (R$)
Concreto armado pronto para console do reservatório assumindo inclinação de telhado de 10%, fck 25 MPa condição a (NBR 12655), lançado em fundações e adensado inclusive forma, escoramento e armação	m³	0,1	1177,8	117,78
Lastro de piso com 5 cm de espessura em concreto 148	m²	8	19,7	157,6
Concreto armado pronto, fck 25 MPa condição a (NBR 12655), lançado em fundações e adensado inclusive forma, escoramento e armação	m³	2,6	1177,8	3.062,28
Impermeabilização com aplicação diretamente na estrutura de um composto de cimentos impermeabilizantes e seladores especiais	m²	17	38,56	655,52
Emboço com argamassa de cal preta em pasta e areia no traço 1:4, dosada com 110 kg de cimento com 2 cm de espessura	m²	31,7	16,36	518,61
Piso cimentado com argamassa de cimento e areia no traço 1 3, com 2,0 cm de espessura, e com acabamento liso.	m²	5,3	21,05	111,57
			Σ	**4.623,36**

4.8.2 Reservatório em Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV)

Os Reservatórios em PRFV apresentam vantagens construtivas tais como: dispensa fase de impermeabilização e regularização, a fase de moldagem é

realizada em fábrica e não in loco, proporcionando maior controle tecnológico, ou seja apresenta menor de tempo de execução como um todo. Essa tecnologia apresenta custos associados mais baixos quando comparado ao reservatório de concreto, no entanto devido a problemas de deformação por exposição prolongada ao sol, que gera resistência do usuário ao reservatório e diminuição de sua capacidade volumétrica, só é recomendável a aplicação na situação totalmente enterrado.

Entre as principais vantagens dos reservatórios em PRFV estão:

- Maior celeridade na instalação, pois possui menos etapas;
- Material leve ;
- Estanqueidade, evitando assim etapas como regularização de superfícies e impermeabilização;
- Pode assumir diversas formas além da mais comumente aplicada de tronco de cone;
- Processo de fabricação rápido;
- Comercializado em diversas formas e volumes no mercado.

Como desvantagens apresenta:

- Baixa resistência ao incêndio;
- Na ausência de tratamento, podem sofrer deformações por aquecimento devido a incidência de raios ultra violeta.

Os reservatórios em PRFV constituem boas vantagens para o construtor em relação a custos e prazo de execução independente da solução adotada, seja essa elevada, semi-enterrada ou totalmente enterrada, porém é necessário que seja analisada a questão da durabilidade dos reservatórios e já que existe divergência em relação à resistência do material à exposição aos raios UV, é recomendável adotar a situação onde o reservatório ficará completamente enterrado.

Para efeitos de orçamento, se alargará a escavação em 40 cm além das bordas mais externas do reservatório, para a instalação deste. A tabela que resume os custos do reservatório em PRFV está denominada como tabela 9 abaixo.

Tabela 9: Orçamento para reservatório enterrado em PRFV

SERVIÇO	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	TOTAL (R$)
Escavação manual com profundidade de 2,2 m sem escoramento	m³	14	23,29	326,06
Lastro de piso com 5 cm de espessura em concreto 148	m²	6,4	19,7	126,08
Reservatório em PRFV de 6 m³	UNIDADE	1	1896	1.896,00
			Σ	**2.348,14**

4.8.3 Reservatório em Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

Assim como os reservatórios em PRFV, os reservatórios em PEAD apresentam vantagens construtivas em relação ao concreto armado. O Reservatório de PEAD apresenta menor peso, que o concreto armado, dispensa as fases construtivas de regularização e impermeabilização, já que o PEAD é um material estanque. Outra semelhança com o PRFV é em relação à celeridade proporcionada na fabricação de reservatórios em PEAD, além das desvantagens inerentes devido à exposição aos raios UV, problema também compartilhado pelo PRFV, há também a dificuldade em relação à baixa resistência ao impacto do PEAD, e a sucetibilidade ao empuxo, devido ao seu baixo peso.

As vantagens do PEAD são :

- Estanqueidade;
- Facilidade de limpeza e manutenção;
- Boa resistência à tração;
- Maior controle tecnológico;
- Material Leve;
- Menor tempo de instalação;
- Menor tempo de fabricação;
- Menor custo que o reservatório de concreto.

As desvantagens são:

- Baixa resistência ao impacto;
- Baixa resistência ao empuxo;
- Restrição de aplicação sobre solos saturados de água;

- Capacidade limitada à 15 m³;
- Deformabilidade na presença de raios UV .

Assim como os reservatórios em PRFV os reservatórios em PEAD, são uma alternativa mais rápida e barata que o concreto armado, porém ao ser comparado ao PRFV é mais caro, por ser uma tecnologia mais nova e estar a menos tempo no mercado, porém suas vantagens são similares. O PEAD apresenta uma desvantagem quanto em relação à derfomabilidade por raios UV e passagem de luz para seu interior, o que podia favorecer a reprodução de seres indesejados como algas e bactérias, esse problema é tratado com uma pintura, tornando o reservatório completamente opaco.

Tendo em vista a possível deformação do reservatório mediante exposição aos raios UV, é justificável e recomendável a execução de reservatórios nesse material na situação em que ele permanece completamente enterrado, tornando a durabilidade desse material, caso não ocorra nenhum impacto ou outra situação atípica, praticamente eterna segundo seus fabricantes.

Foi estudado um reservatório de 5,8 m³ que são encontrados mais facilmente no mercado(mais especificamente foi estudado o reservatório modelo HDT-5800 da marca HD que possui diâmetro de 1,52m e 3,5m de altura) com isso foi possível fazer um breve estudo de custos, que envolve a escavação, que considera 40 cm a mais no diâmetro da escavação e 5 cm a mais na profundidade, e o custo do reservatório propriamente dito, o resumo desses cálculos está apresentado na tabela 10.

Tabela 10 : Orçamento para reservatório enterrado em PEAD

SERVIÇO	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	TOTAL (R$)
Escavação manual com profundidade de 4 m sem escoramento	m³	11,6	23,29	270,16
Lastro de piso com 5cm de espessura em concreto 148	m²	2,9	19,7	57,13
Reservatório em PEAD de 5,8 m³	UNIDADE	1	3770	3.770,00
			Σ	**4.097,29**

5. CONCLUSÕES

Os volumes dos reservatórios calculados pelo método de Rippl, que variaram de 2,54 a 10,97 m³, mostraram-se coerentes com as características dos regimes pluviométricos da RMR apresentando baixo desvio padrão.

O método Azevedo neto (NA) resultou nos maiores volumes dos reservatórios, em todas as cidades estudadas, variando de 37,18 a 46,54 m³. O desvio padrão dos valores desse método também foi relativamente baixo, como esperado por se tratar de uma região com características pluviais semelhantes. Os reservatórios de grandes volumes obtidos por esse método acabam por se tornar inviáveis devido as suas dimensões, isto é, a necessidade de espaço para sua construção, além do custo da obra.

Os volumes dos reservatórios determinados pelo método Prático Alemão foram iguais para todas as cidades estudadas e no valor de 3,41 m³. A aplicação desse método em situações onde a demanda é muitas vezes superior ao volume captável de chuvas, pode produzir resultados insatisfatórios do ponto de vista de atendimento ao consumo.

Os volumes dos reservatórios determinados pelo método Prático Inglês, que variaram de 5,53 a 11,57 m³, são diretamente proporcionais às precipitações anuais nas cidades selecionadas do Estado de Pernambuco e não levam em consideração as demandas, o que pode trazer problemas de insuficiência de armazenamento nos períodos de estiagem. Apresentou um baixo desvio padrão entre os volumes dos reservatórios das diferentes cidades (1,63 m³), e uma média de 8,65 m³.

A aplicação do método de Fendrich resultou em volume de armazenamento constante para todas as regiões (2,05 m³) e inferior aos volumes determinados pelos demais métodos. No entanto, esse método utiliza um coeficiente de escoamento superficial determinado para a bacia do rio Belém, no estado do Paraná, de modo que sua utilização em outras regiões do país pode não se mostrar adequada.

Os volumes dos reservatórios determinados pelo método de Rippl combinado com a metodologia de Monte Carlo variaram de 5,62 a 22,06 m³ e resultaram superiores aos volumes dos reservatórios calculados pelo método de Rippl. No entanto, esses volumes correspondem à probabilidade de ocorrência das precipitações de 75%, considerada a mínima tolerável, enquanto que os volumes calculados pelo método de Rippl, considerando as precipitações médias mensais,

correspondem a probabilidades de ocorrência de precipitações variando entre 30% e 61%. Essa informação deve subsidiar decisões relativas aos custos e aos riscos de falhas - subestimativa ou superestimativa dos volumes do reservatório. Os métodos de Monte Carlo/Rippl forneceram uma média dos volumes dos reservatórios das diferentes cidades de 11,74 m³, praticamente o dobro da média obtida por Rippl. Seu desvio padrão foi o mais alto obtido dentre todos os métodos utilizados no trabalho.

Para cada um dos métodos utilizados para o cálculo dos volumes dos reservatórios a mesma ordem de grandeza foi obtida para todas as cidades estudadas. Os desvios padrões dos métodos foram baixos, não ultrapassando o valor 4 m³, o que representa a uniformidade do regime de chuvas na RMR e valida a confiabilidade dos métodos aplicados.

Na análise de falhas, para o volume de 6 m³, valor escolhido como referência para a RMR, a média de dias de falha foi de 25 por ano. O pequeno número de falhas reafirma as vantagens da implantação do sistema de captação de águas pluviais para utilização em fins não potáveis.

Após análises de custos, das vantagens e desvantagens de cada material chegou-se à conclusão que os reservatórios em plástico reforçado com fibra de vidro constituem menor custo e são mais indicados exceto nas situações onde não for possível a instalação de reservatório completamente enterrado, nesse caso o reservatório em concreto armado torna-se mais vantajoso, visto que apesar do reservatório em Polietileno apresentar menores custos pode apresentar deformações quando não completamente enterrado, gerando menor aproveitamento do sistema e desgaste com o usuário.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANNECCHINI, K. P. V. (2005). Aproveitamento da Água de Chuva para Fins não Potáveis na Cidade de Vitória (ES). Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Vitória, Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (2013). Sistema de Geoinformação Hidrometeorológico de Pernambuco. Acesso 15 de agosto de 2013. Dados disponíveis em: < http://www.apac.pe.gov.br/sighpe/ >

BERTOLO, E. J. P. (2006). Aproveitamento da Água da Chuva em Edificações. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2006.

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (2013). Águas cinzas e Sustentabilidade. Acesso 20 de agosto de 2013. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/sustentavel/sustentabilidade/pdf/Reaproveitamento_agua/aguas_cinzas.pdf >

CIRILO, J. A. ; NETTO, M. S. C. C. ; MONTENEGRO, S. M. G. L. ; ASFORA, M. C. (2007)**.** O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi - áridas.Org. por Cirilo, J.A, Cabral, J.J.SP ... et al; Recife: Ed.Universitária da UFPE, 2007.508 p.

CHOCAT B. (1997). Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. LAVOISIER TEC & DOC (éditeur), 1124 p

CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC, 2005. Acesso 25 junho de 2013. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/educamb/_arquivos/consumo_sustentavel.pdf>

a: COUTINHO, A. P. ; Gusmão, P. T. B. ; Montenegro S. M. G. L. ; Antonino, A. C. D. ; SILVA, F. B. ; CABRAL, J. J. S. P. (2011). Comparação entre Diferentes Metodologias para Dimensionamento de Sistemas de Captação de Água de Chuva em Meso-regiões do Estado de Pernambuco/Brasil. In: XIV Word Water Congress, 2011, Porto de Galinhas. Proceedings of the WIV Word Water Congress, 2011.

b: COUTINHO, A. P. ; SILVA, F. B. ; SILVA, R. O. B. ; ANTONINO, A. C. D. ; CABRAL, J. J. S. P. ; Montenegro S. M. G. L. (2011). Comparação entre Diferentes Metodologias para Dimensionamento de Sistemas de Captação de Água de Chuva em Meso-regiões do Estado de Pernambuco. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceio. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió, 2011.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, (2001). ATIVIDADES IMPACTANTES SOBRE O MEIO AMBIENTE DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE. Série Degradação Ambiental - Volume 02. Superintendência Regional do Recife. Pernambuco, 2001.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, (2003). Sistema de informações geoambientais da região metropolitana do Recife. Superintendência Regional do Recife. Pernambuco, 2003.

FENDRICH, R. (2002). Aplicabilidade do armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana. Curitiba, 2002. 504f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

FENDRICH, R. (2009)**.** *Manual de Utilização de águas Pluviais (100 Maneiras Práticas)*. Curitiba, Chain Editora.2ª Ed-ampliada.190 p. 2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010). Dados demográficos, cidades. Acesso 28 de junho de 2013. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/uf.php?coduf=26&search=pernambuco>

IEH – INSTITUTO DE ESTUDIOS DEL HAMBRE (2013). Manejo Sustentável da água - Eco-Sistema – Sistemas ecológicos e Permacultura – PT. Acesso 06 de agosto de 2013. Disponível em: < http://www.ieham.org/html/docs/Manejo_sustentavel_agua_chuva.pdf >

JABUR, A. S. BENETTI, H. P. SILIPRANDI, E. M. (2011). Aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis. VII Congresso nacional de excelência em gestão.

MAY, S. (2004). Estudo da viabilidade para aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. São Paulo, 2004. 159p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15527/2007- Água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requesitos. Rio de Janeiro, ABNT, 2007.

SCHIMIDT, M. (2001). Captação de água de chuva na Alemanha. In: 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semi-Árido, Paraíba: ABRH, 2001. p.8. 1 CD - ROM.

SOARES, E. F. (2004). Captação da água da chuva para consumo humano. Acesso 13 maio 2013.Disponível em: <http://www.micromacro.tv/pdfs/contruyalo_portugues/iniciativas_port >

TOMAZ, P. (2003). Aproveitamento de Água de Chuva – Para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis. Navegar Editora, São Paulo, 2003.

TUCCI, C. E. M. (2004). Hidrologia: Ciência e Aplicação, Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Editora da UFRGS. 3ª Edição. 943p. 2004.