

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL

ÁREAS UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS: ANÁLISE DO ATENDIMENTO DA DEMANDA PELO MÉTODO DE EFICIÊNCIAS PARA DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA DIFERENTES REGIMES PLUVIOMÉTRICOS BRASILEIROS.

Juliana de Campos Carvalho

Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi

Rio Claro (SP)

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

JULIANA DE CAMPOS CARVALHO

UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS:
ANÁLISE DO ATENDIMENTO DA DEMANDA PELO MÉTODO
DE EFICIÊNCIAS PARA DIMENSIONAMENTO DE
RESERVATÓRIO PARA DIFERENTES REGIMES
PLUVIOMÉTRICOS BRASILEIROS.

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP
2013

JULIANA DE CAMPOS CARVALHO

UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS:
ANÁLISE DO ATENDIMENTO DA DEMANDA PELO MÉTODO
DE EFICIÊNCIAS PARA DIMENSIONAMENTO DE
RESERVATÓRIO PARA DIFERENTES REGIMES
PLUVIOMÉTRICOS BRASILEIROS.

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Eng. Civil Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi (orientador)

Eng. Químico Prof. Dr. Samuel Conceição de Oliveira

Eng. Ambiental Me. Lucas Tadeu Fuess

Rio Claro, 29 de Novembro de 2013 .

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

628.092 Carvalho, Juliana
C331u Utilização de água pluvial para fins não potáveis: análise do atendimento da demanda pelo método de eficiências para dimensionamento de reservatório para diferentes regimes pluviométricos brasileiros / Juliana Carvalho. - Rio Claro. 2013
61 f. : il., figs., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Rodrigo Braga Moruzzi

1. Engenharia ambiental. 2. Sistema de captação. 3. Regime pluviométrico. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Dedico esse trabalho, assim como todas as minhas conquistas, à minha mãe, que deixa quaisquer dizeres pequenos para descreverem o quanto eu sou grata e o quanto minha vida não teria o menor sentido sem ela. Te amo mãe.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, por proporcionar as oportunidades da minha vida;

Ao Victor, uma pessoa maravilhosa que eu só posso agradecer por entrar na minha vida e fazer parte do meu coração;

As minhas amigas Helena, Isabella, Janine, Laís, Renata e Tatiane, por me trazerem alegrias, diminuírem as tristezas e completarem os meus dias;

À minha avó, por todo o carinho e cuidados;

À minha madrinha, por todo o amor;

Ao meu orientador, um excelente profissional que com a sua disposição e paciência possibilitou a realização desse trabalho.

RESUMO

O Brasil concentra em torno de 12% de um recurso essencial a vida: a água doce superficial do planeta. No entanto, é possível observar a má gestão desse recurso, gerando consequências graves sobre a qualidade que resultam em perda de disponibilidade para uso. Dentro desse cenário, a captação de água de chuva para a utilização para fins não nobres apresenta-se como uma alternativa viável que vem sendo amplamente estudada pela comunidade científica. Dentro do planejamento de um sistema de coleta de água pluvial, tem-se que o dimensionamento do volume do reservatório que irá armazenar a água é de fundamental importância para o projeto, visto que o superdimensionamento pode acarretar em elevados custos e o subdimensionamento pode gerar déficits no fornecimento de água. O presente trabalho utilizou-se de um método de dimensionamento baseado em dois conceitos: a eficiência de atendimento da demanda e a eficiência de fornecimento de água pelo o sistema. Esse método parte do princípio que existe uma demanda ótima, a qual minimiza o tempo de retorno do investimento, associada a cada volume de reservatório, sendo determinada a partir da condição na qual as eficiências se igualam. Foram escolhidas cidades brasileiras diferentes regimes pluviométricos para que fossem simulados os atendimentos de diferentes demandas de residências familiares. Os dados foram parametrizados em função da área de telhado e número de habitantes por residência para que futuras consultas possam ser realizadas com facilidade e boa aproximação da realidade. Os resultados mostram que localidades com grandes períodos de estiagem possuem menor potencial de fornecimento de água, mesmo aquelas que possuem chuvas abundantes nos períodos de picos. Regiões com regimes pluviométricos constantes e elevados mostraram que pequenas áreas de captação e pequenos volumes de reservatório – cerca de metade do volume de regiões com condições menos favoráveis – podem trazer grandes economias de água ao longo do ano. Em vistas de promover maior sustentabilidade ambiental, projetos de captação de água de chuva se mostraram uma boa alternativa.

Palavras-Chaves: Água Pluvial. Climas Brasileiros. Dimensionamento de Reservatório.

ABSTRACT

Brazil has about 12 % of a life's essential resource: the superficial fresh water of the planet. However, today it is possible to observe the bad management of this resource, generating serious consequences on the quality that results in the loss of the use's availability. In this scenario, the catchment of rainwater for undrinkable use is an alternative that has been broadly studied for the scientific community. When planning a system of rainwater catchment, the sizing of the required volume of the tank that will keep the water has a fundamental importance for the project, seeing that the supersizing of the tank can bring high costs and the undersizing can bring shortage in the water supply. This paper used a methodology based on two concepts: the harvesting efficiencies and the attending efficiencies of the system. This method takes as principle that exist a perfect demand that minimize the repayment time, condition that happened when the efficiencies are equal. Brazilian's cities with different weathers and different rainfalls where chosen to simulate the attending for different demands for a typical residence. The data where parameterized according to the roof area and the number of residents, that way is possible that a future conference can be easily done and it also ensure results closer to the reality. The results showed that cities with a lower period of drought, even those with high level of rainfall on the raining mouths, have lower potential of water supply. The cities where the rainfall is more constant and also more high, even small roofs areas and small tank's volumes – about half of the size compare to the cities with less propitious conditions – can generate high levels of water saving. With an eye to promote the environmental sustainability, the investment on projects for the catchment of rainwater is a good alternative.

Keywords: Rainwater. Brazilian Weathers. Sizing of Reservoir.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	15
2.OBJETIVO.....	18
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
4.METODOLOGIA.....	25
4.1.Escolha dos municípios.....	25
4.2.Levantamentos de Dados.....	25
4.3.Simulações.....	25
5.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Eficiência de atendimento, eficiência de fornecimento e tempo de retorno do investimento em relação à demanda ótima de água que pode ser ofertada. Dados: área de cobertura = 60 m², volume do reservatório = 0,5 m³, first flush = 2 mm, Coeficiente de run off = 0,85, custo do reservatório = R\$ 127,19, $\eta = 0,9$ (eficiência de captação de água pluvial) e preço da água = R\$2,02/m³. Fonte: [10]. 23
- Figura 2: Relação da eficiência de atendimento, eficiência de fornecimento e tempo de retorno do investimento em relação à demanda ótima para diversos volumes de reservatórios de água que pode ser ofertada. Dados: área de cobertura = 60 m², first flush = 2 mm, Coeficiente de run off = 0,85, custo do reservatório = R\$ 127,19, $\eta = 0,9$ ((eficiência de captação de água pluvial) e preço da água = R\$2,02/m³. Fonte: [10]. .. 24
- Figura 3: Mapa Clima do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Fonte: [12]. ... 28
- Figura 4: Precipitações mensais médias com base nos dados dos anos de 2003 a 2012 para os municípios de Belo Horizonte (A), Florianópolis (B), Presidente Prudente (C), Recife (D), Salvador (E), São Paulo (F) e Teresina (G). 30
- Figura 5: Chuva anual nos municípios de Teresina e Florianópolis para os anos de 2002 a 2012. 32
- Figura 6: Volume de água de chuva que pode ser ofertados por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Belo Horizonte. 33
- Figura 7: Valores das eficiências ($E_a = E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Belo Horizonte. 33
- Figura 8: Valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Belo Horizonte. 34

Figura 9: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Florianópolis.....	35
Figura 10: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Florianópolis.....	35
Figura 11: Valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Florianópolis.	36
Figura 12: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Presidente Prudente.....	37
Figura 13: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Presidente Prudente.....	37
Figura 14: Valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Presidente Prudente.	38
Figura 15: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Recife.	39
Figura 16: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Recife.	39
Figura 17: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Recife.....	40
Figura 18: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Salvador.	41

Figura 19: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Salvador.	41
Figura 20: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Salvador.....	42
Figura 21: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de São Paulo.....	43
Figura 22: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de São Paulo.....	43
Figura 23: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de São Paulo.	44
Figura 24: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Teresina.	45
Figura 25: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Teresina.	45
Figura 26: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Teresina.....	46
Figura 27: Volume de água de chuva que pode ser ofertados por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Teresina no ano mais seco.	48
Figura 28: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de coberturas para o município de Teresina no ano mais seco.	48

Figura 29: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Teresina no ano mais seco.	49
Figura 30: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Teresina no ano mais úmido.	50
Figura 31: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Teresina no ano mais úmido.	50
Figura 32: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Teresina no ano mais úmido.	51
Figura 33: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Florianópolis no ano mais seco.	52
Figura 34: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Florianópolis no ano mais seco. ...	52
Figura 35: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Florianópolis no ano mais seco.	53
Figura 36: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Florianópolis no ano mais úmido.	54
Figura 37: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Florianópolis no ano mais úmido.	54

Figura 38: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Florianópolis no ano mais úmido. 55

Figura 39: Boxplot dos potenciais de atendimento para os dados médios e para os dados extremos, com base na Tabela 1. 58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Potenciais de atendimentos para uma demanda fixa de 250 L/dia.hab.58

1.INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um assunto que vem ganhando cada vez mais espaço no cenário mundial. Segundo consta no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a sustentabilidade ambiental se encontra como sendo uma das metas do milênio. A água é caracterizada, inquestionavelmente, como um recurso essencial à vida e, portanto, um recurso que deveria ser manuseado de forma sustentável. O Brasil concentra em torno de 12% da água doce superficial do planeta. No entanto, em 2000, segundo os dados do Censo, 10% dos domicílios brasileiros em áreas urbanas (equivalendo a 3,9 milhões de famílias ou 14,4 milhões de pessoas) não eram servidos por rede de abastecimento de água. A maioria destes domicílios, conta com água encanada originária de outras fontes, tais como nascentes e poços. Esse fato, aliado as formas de utilização e má gestão da água - com conseqüências graves sobre a qualidade e que ocasionam perda de disponibilidade deste recurso - mostram a importância que captação de água de chuva para usos não potáveis pode representar para muitos brasileiros no presente o no futuro [1]. Outra vantagem da utilização desses sistemas é possibilidade de redução do escoamento superficial diminuindo a carga nos sistemas de coleta pluvial nos momentos de pico, conseqüentemente diminuindo o risco de inundação [2].

No projeto de instalação de um reservatório de água pluvial, o dimensionamento do volume deste é de suma importância. O fundamento básico do projeto de aproveitamento de águas pluviais assenta-se sobre o grau de atendimento das demandas de água não potável frente à oferta de precipitação pluvial no local. A quantidade de água pluvial a ser aproveitada é diretamente proporcional à área de captação. Da mesma forma, o regime pluviométrico interfere na disponibilidade de água pluvial, sendo que cada região deverá ter sua condição mais adequada de dimensionamento.

A determinação de um volume inadequado do reservatório pode acarretar em um custo elevado do projeto, não compensando o empreendimento ou mesmo

levando a insuficiência do abastecimento. Dessa forma, é preciso fazer uma análise integrada entre aspectos econômicos e pluviométricos para que haja dimensionamento adequado do volume requerido para o reservatório.

Dessa forma, o presente trabalho visou avaliar o atendimento de diferentes demandas em diversas cidades do país com base em uma proposta metodológica de dimensionamento de reservatório de sistema de aproveitamento de água pluvial.

2.OBJETIVO

O objetivo desse trabalho compreende avaliar o atendimento de diferentes demandas em diversas regiões do país com base em uma proposta metodológica de dimensionamento de reservatório de sistema de aproveitamento de água pluvial, baseada no critério da igualdade entre a eficiência de atendimento e a eficiência de fornecimento.

3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Métodos de dimensionamento de reservatórios vêm sendo amplamente estudados devido ao fato de este ser um dos itens mais críticos para a implantação do sistema. Outros parâmetros relacionados à captação a armazenagem de água pluvial também são objetivos de pesquisa da comunidade científica.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas [3] propõe um método empírico intitulado de Método Prático Brasileiro, descrito na equação (1):

$$V= 0,042 \times P \times A \times T \quad (1)$$

Onde V é o volume de água aproveitável (volume de água no reservatório); P é a precipitação média anual (mm); A é a área de cobertura (m²) e T é o número de meses de pouca ou nenhuma chuva.

Um método bastante difundido é o Método de Rippl, também conhecido como o método do Diagrama de Massas. É definido como sendo a integral do hidrograma (representação gráfica da vazão ao longo do tempo), sendo então um diagrama de volumes acumulados que afluem ao reservatório. A partir de dados de entrada como: precipitação local (diária ou mensal); área reservada à coleta da água pluvial; coeficiente correspondente ao não aproveitamento total da água coletada e o consumo, é determinado um volume de reservatório.

Um trabalho publicado na área realiza comparações de métodos de dimensionamento de reservatório [4] foram feitas simulações de volume de reservatório para diversos métodos, com variação de demanda diária de água de 100 L a 300 L e área de captação até 300 m² para três cidades de precipitações similares do estado de Santa Catarina. A utilização do método de diagrama de massas em comparação a outros mostrou um volume de reservação de água pluvial muito mais elevado, sendo possível a utilização dessa para áreas de captação acima de 100 m².

Outro estudo comparativo de métodos de dimensionamento [5] também relata o método de diagrama de massas, apesar de ser mais utilizado por sua fácil aplicação, foi desenvolvido para grandes reservatórios, o que pode levar a uma superestimativa do volume a ser reservado quando o caso não for este.

No dimensionamento de um reservatório por esse método, tem-se que o período crítico é definido como o período no qual o reservatório vai da condição de cheio para a condição de vazio. O início do período crítico se dá com o reservatório cheio; o fim do período crítico é quando o reservatório esvazia pela primeira vez dentro do período. Assim, uma única falha pode ocorrer durante o período crítico. O diagrama de Rippl parece ter sido o primeiro método racional para a estimativa da quantidade de armazenamento necessária para suprir uma dada retirada.

Outra forma adotada para dimensionar reservatórios para água de chuva é a utilização do máximo período de estiagem, ou seja, com base em séries históricas de dados diários de precipitação, adotar o máximo intervalo de dias consecutivos sem chuvas, assim o volume de reservação é determinado pela equação (2):

$$V = N \times D \quad (2)$$

Onde, N é o número de dias consecutivos sem chuvas e D é a demanda diária para chuva. Geralmente considera-se dias sem chuva aqueles nos quais a precipitação é inferior a 1 mm [6].

Para a utilização desse método, o ideal é a observação dos registros pluviométricos de anos (principalmente de décadas) anteriores para identificar os maiores períodos de dias consecutivos sem chuvas e sua taxa de repetição.

De posse dos períodos de dias consecutivos sem chuva e do volume de água pluvial consumido diariamente na edificação, o volume mínimo a ser adotado para o reservatório, calculado por esse método, é obtido a partir do produto desses dois valores, ou seja:

$$V = Cd \times Dsc \quad (3)$$

Onde V é volume do reservatório de água pluvial (m^3), Cd é o consumo diário de água pluvial (m^3) e Dsc é o intervalo de dias consecutivos sem chuvas.

Em outro trabalho que apresenta resultados preliminares de um dimensionamento e simulação do comportamento de um reservatório [7] esse método é utilizado para a realização de dimensionamento, bem como outro método que realiza um processo de transformação de chuva em vazão afluente ao reservatório, intitulado de método da simulação hidrológica de transformação de chuva – vazão. As simulações para uma residência na cidade de Flores da Cunha mostrou que houve poucos dias de falhas (inferior a 6% dos dias) ocorrendo mais extravazamentos (cerca de 12% dos dias). Quando o reservatório foi simulado pelo critério hidrológico, as falhas no atendimento chegaram a 37% dos dias analisados. Pensando em cenários reais, o trabalho também mostrou resultados de estudos referentes a valores de reservatórios comerciais, identificando, para cada volume de reservatório, os dias que este seria capaz de abastecer uma residência em caso de escassez e o tempo de retorno. Para o volume mínimo, um reservatório comercial de $1 m^3$, tem-se que o tempo de retorno é de 1 ano, e o número de dias consecutivos sem chuva que o reservatório consegue suprir a demanda da residência é três dias. Para o volume máximo de reservatório analisado, $12 m^3$, o tempo de retorno é de 9,66 anos e o período de seca que esse reservatório supre a demanda compreende 34 dias. Para o município objeto de estudo, Cunha das Flores, o trabalho concluiu que a utilização de um reservatório de $6 m^3$ de capacidade poderia garantir o abastecimento de uma residência para usos não nobres e ainda armazenar água suficiente para suprir até 17 dias de estiagem. Uma análise econômica mostrou que uma residência que adotasse volumes de reservatórios quaisquer entre tempos de retorno de 3, 5 ou 10 anos teria uma economia de R\$ 287,00 ao final de um ano e um tempo de amortização de investimento de 9 anos.

São crescentes as publicações e trabalhos desenvolvidos na área de coleta de água pluvial. Relatando não haver menções anteriores a respeito do assunto,

um trabalho que avalia a variação temporal da qualidade de água armazenada [8] discute o tempo de permanência que a água pode ficar armazenada em um reservatório, baseados em análises físico-químicas e microbiológicas de uma mesma precipitação. As análises foram feitas com amostras de água armazenada no reservatório com e sem descarte, e essas foram fracionadas para metade ser tratada hipoclorito de sódio e a outra metade sem tratamento. As análises físico-químicas tiveram por objetivo calcular o índice de Langelier, que avalia a tendência de precipitação ou dissolução de carbono de cálcio, enquanto que a caracterização microbiológica foi realizada por meio da determinação de bactérias heterotróficas. Com base no estabelecimento do índice de Langelier, foi observada a tendência corrosiva de todas as amostras de água, sendo menor nas amostras tratadas com hipoclorito de sódio, quanto à presença de bactérias heterotróficas, a análise das concentrações obtidas mostraram valores significativamente menores nas amostras com tratamento, mantendo valores residuais durante todo o período de tratamento. Apenas o descarte inicial não foi suficiente para eliminar a contaminação microbiológica.

Em um trabalho de avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatórios [9] é proposta a introdução ao coeficiente de redução (Rd) da precipitação média anual para evitar que o reservatório sofra com *déficits*, com o propósito de habilitar uma ferramenta que auxilie a análise do desempenho de sistemas de captação de águas pluviais em função do volume do reservatório adotado para postos de diversas regiões do Brasil. O coeficiente de redução de precipitação visa obter uma proporção ideal entre a área de captação e a precipitação média anual do posto em questão. Sendo assim o coeficiente Rd proporcionou um aumento da área da captação em prol de menores volumes de armazenamento e menores falhas ao longo do ano.

Recentemente foi proposto um trabalho que se baseia no conceito de eficiências do sistema de captação e fornecimento de água pluvial [10]. Este trabalho apresenta uma abordagem de dimensionamento baseada em dois conceitos: a eficiência de atendimento da demanda e a eficiência de fornecimento

de água pelo o sistema. Esse método parte do princípio que existe uma demanda ótima, a qual minimiza o tempo de retorno do investimento, associada a cada volume de reservatório.

Para a utilização desse método utiliza-se como dados de entrada:

- Coeficiente de *runoff*, ou coeficiente de deflúvio, que é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado, e cujos valores são tabelados de acordo com a superfície do terreno;
- *First flush*, que é um volume de água adotado para ser descartado do reservatório após a primeira chuva buscando-se minimizar as impurezas nos reservatórios advindas das possíveis poeiras e detritos presentes no telhado;
- Eficiência do sistema, um valor adimensional que pode variar de 0 até 1.

Conjuntamente ao método de dimensionamento é feita a análise pelo o método de Payback Descontado. Esse método corresponde ao período de tempo necessário para recuperar o investimento, avaliando-se os fluxos de caixa descontados. Os valores de retorno no projeto são trazidos a valor presente usando uma taxa de desconto exigida pelo projeto [12].

Como dados de entrada tem-se o custo do reservatório, o custo da água de abastecimento público, o custo de manutenção do sistema e a taxa de amortização anual. Temos que, quando há a igualdade entre as eficiências de atendimento (E_a) e de fornecimento (E_h), o tempo de retorno do investimento é o mínimo, distinto para cada valor de reservatório. Tal fato é demonstrado por na proposta no método das eficiências [10], onde foi realizada uma simulação para um reservatório de $0,5 \text{ m}^3$, 60 m^2 de área de cobertura e custo da água de R\$ 2,02 por m^3 . O gráfico gerado demonstra que tanto E_a quanto o tempo de amortização do investimento decrescem com o aumento da demanda, ao passo que E_h

aumenta. A partir do ponto onde as eficiências se igualam, temos que o tempo de amortização atinge um valor assintótico, como mostrado nas Figuras 1 e 2.

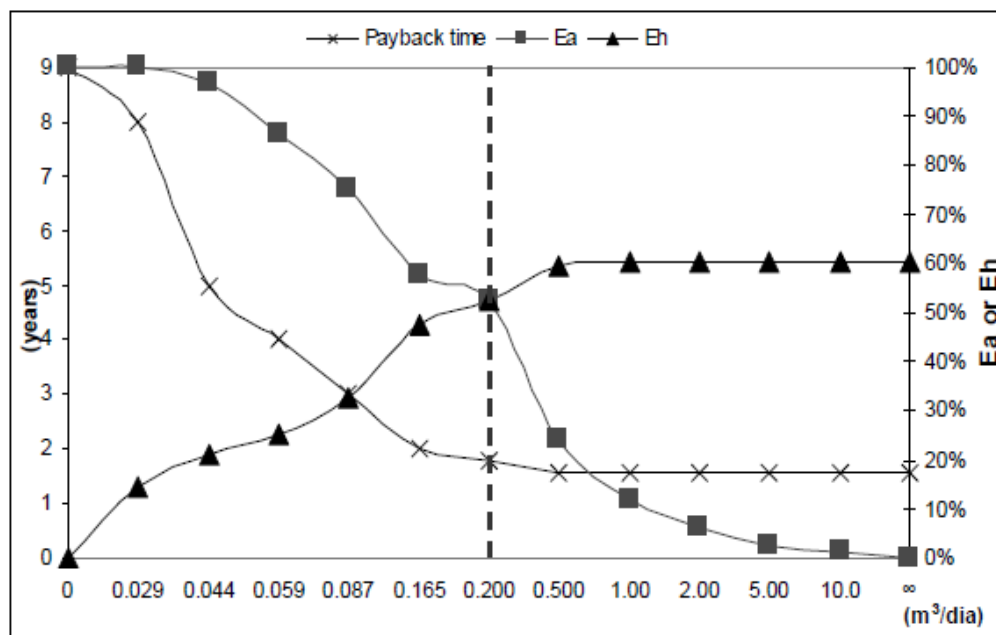


Figura 1: Eficiência de atendimento, eficiência de fornecimento e tempo de retorno do investimento em relação à demanda ótima de água que pode ser ofertada. Dados: área de cobertura = 60 m², volume do reservatório = 0,5 m³, *first flush* = 2 mm, Coeficiente de *run off* = 0,85, custo do reservatório = R\$ 127,19, η = 0,9 (eficiência de captação de água pluvial) e preço da água = R\$2,02/m³. Fonte: [10].

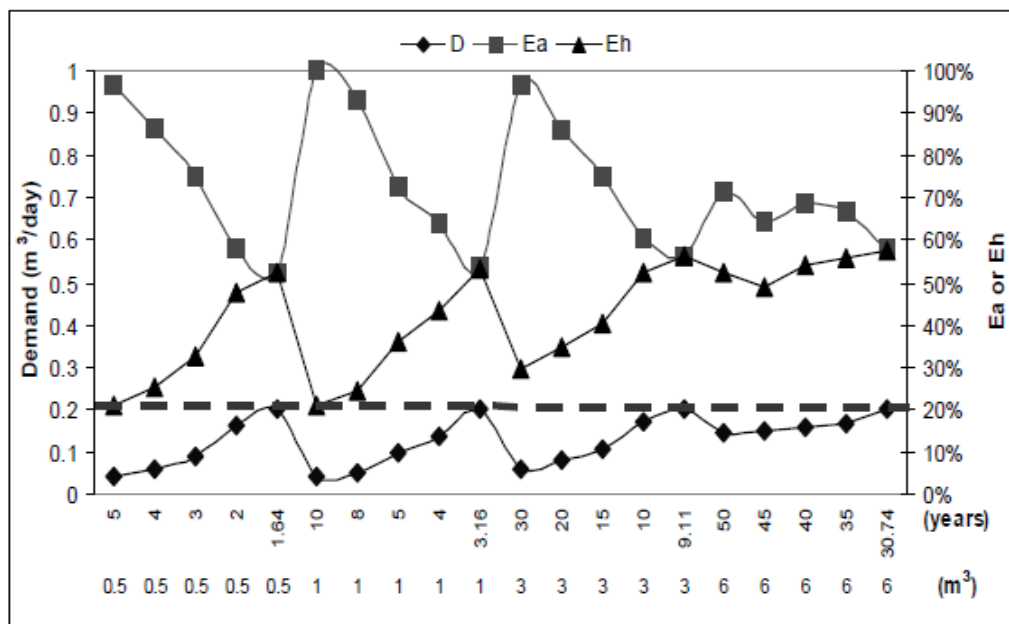


Figura 2: Relação da eficiência de atendimento, eficiência de fornecimento e tempo de retorno do investimento em relação à demanda ótima para diversos volumes de reservatórios de água que pode ser ofertada. Dados: área de cobertura = 60 m², *first flush* = 2 mm, Coeficiente de *run off* = 0,85, custo do reservatório = R\$ 127,19, η = 0,9 ((eficiência de captação de água pluvial) e preço da água = R\$2,02/m³. Fonte: [10].

Desta forma, é importante ressaltar que o método deve ser aplicado em locais onde o abastecimento de água é pleno, e o sistema de captação de água pluvial seria uma alternativa para reduzir custos e taxas agregados ao consumo de água fornecida pelo serviço público.

METODOLOGIA

4.1. Escolha dos municípios

Foram pesquisadas informações a respeito dos diferentes regimes pluviométricos no Brasil visando a escolha de municípios fossem com a maior variabilidade possível do regime pluvial, para que, dessa forma, pudesse haver boas referências para usos futuros dos métodos. Sendo assim, foi utilizado o mapa temático de climas brasileiros do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Figura 3) a partir da qual foram escolhidas cidades, preferencialmente capitais com territórios localizados em diferentes regimes de precipitações anuais, selecionou-se um número de cidades que abrangessem as diferentes configurações de precipitação presentes no país.

4.2. Levantamentos de Dados

Após a seleção das cidades a serem estudadas, foram levantados dados históricos sobre a precipitação diária em cada município. As informações foram obtidas junto a Agência Nacional de Águas [13] sendo que médias simples multianuais das precipitações diárias foram estabelecidas com base em dados de 10 anos de chuvas.

Para avaliação da configuração de precipitação das diferentes regiões foram construídas as curvas de precipitação mensal.

As precipitações médias diárias ($P_{1\text{dia}}$) foram utilizadas como entrada no modelo das eficiências [10]. Adicionalmente, para a região considerada mais seca e para a região mais chuvosa foram utilizados dados de entrada referentes ao ano mais seco e mais chuvoso, de cada uma dessas regiões.

4.3. Simulações

Para determinação do volume do reservatório utilizou-se a metodologia das eficiências [10], sendo as simulações realizadas em planilha eletrônica. Em tal publicação foi estabelecida uma análise racional para o dimensionamento baseada em eficiências de atendimento e de aproveitamento, demanda de água pluvial e tempo de retorno do investimento (payback descontado) para diferentes cenários [11].

A hipótese central do método é que a demanda já é totalmente suprida pelo sistema público de abastecimento na condição inicial e, assim, o sistema de água pluvial pode apresentar falhas de fornecimento. Dessa forma, a maximização da demanda implica na redução do período de amortecimento do investimento.

Esse caso constitui um exemplo típico de uma edificação em área urbana que deseja incorporar o aproveitamento de água pluvial, visando atender usos menos nobres. O balanço de massa foi aplicado para o cômputo das parcelas referentes aos volumes armazenados, disponibilizados e utilizados diariamente durante um período total de um ano, tempo no qual foi considerado o esvaziamento do tanque para manutenção. Além disso, foram utilizadas duas variáveis para a análise dos resultados de cada cenário simulado:

- Eficiência de atendimento (E_a): Quociente entre o volume total de chuva consumido e a demanda total;
- Eficiência de aproveitamento (E_h): Quociente entre o volume total de chuva consumido e o volume total de chuva aproveitável.

As Equações (4), (5) e (6) descrevem os cálculos envolvidos na realização da simulação.

$$V_p(i) = C \times P(i) \times A - ff \quad (4)$$

Onde $V_p(i)$ = volume precipitado e coletado pela a precipitação no dia i ; C = coeficiente de runoff; $P(i)$ = volume de chuva no dia i ; A = área de coleta; ff = *first flush*.

$$Ea = \frac{\sum_{i=1}^{365} Va(i)}{\sum_{i=1}^{365} D(i)} \quad (5)$$

$$Va^{(i)} = \begin{cases} D(i), & \text{se } V(i) + S_{(i-1)} \geq D(i) \\ S_{(i-1)} + Vp(i), & \text{se } S_{(i-1)} + Vp(i) < D(i) \end{cases}$$

Onde Ea = eficiência de fornecimento; Va = volume de água utilizada; D = demanda;

S = volume de água no reservatório; Vp = volume de precipitado.

$$Eh = \frac{\sum_{i=1}^{365} Va(i)}{\sum_{i=1}^{365} Vp(i)} \quad (6)$$

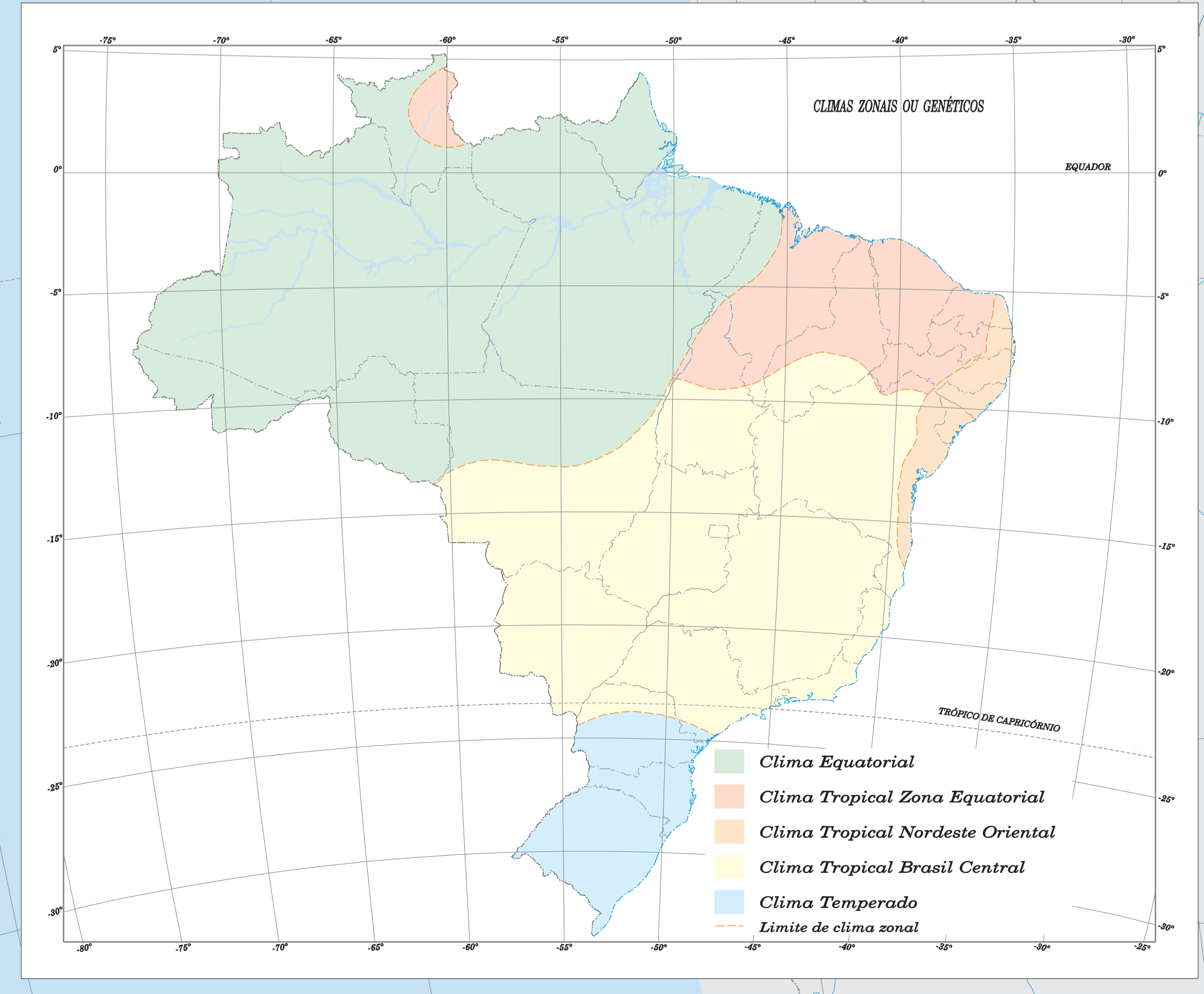
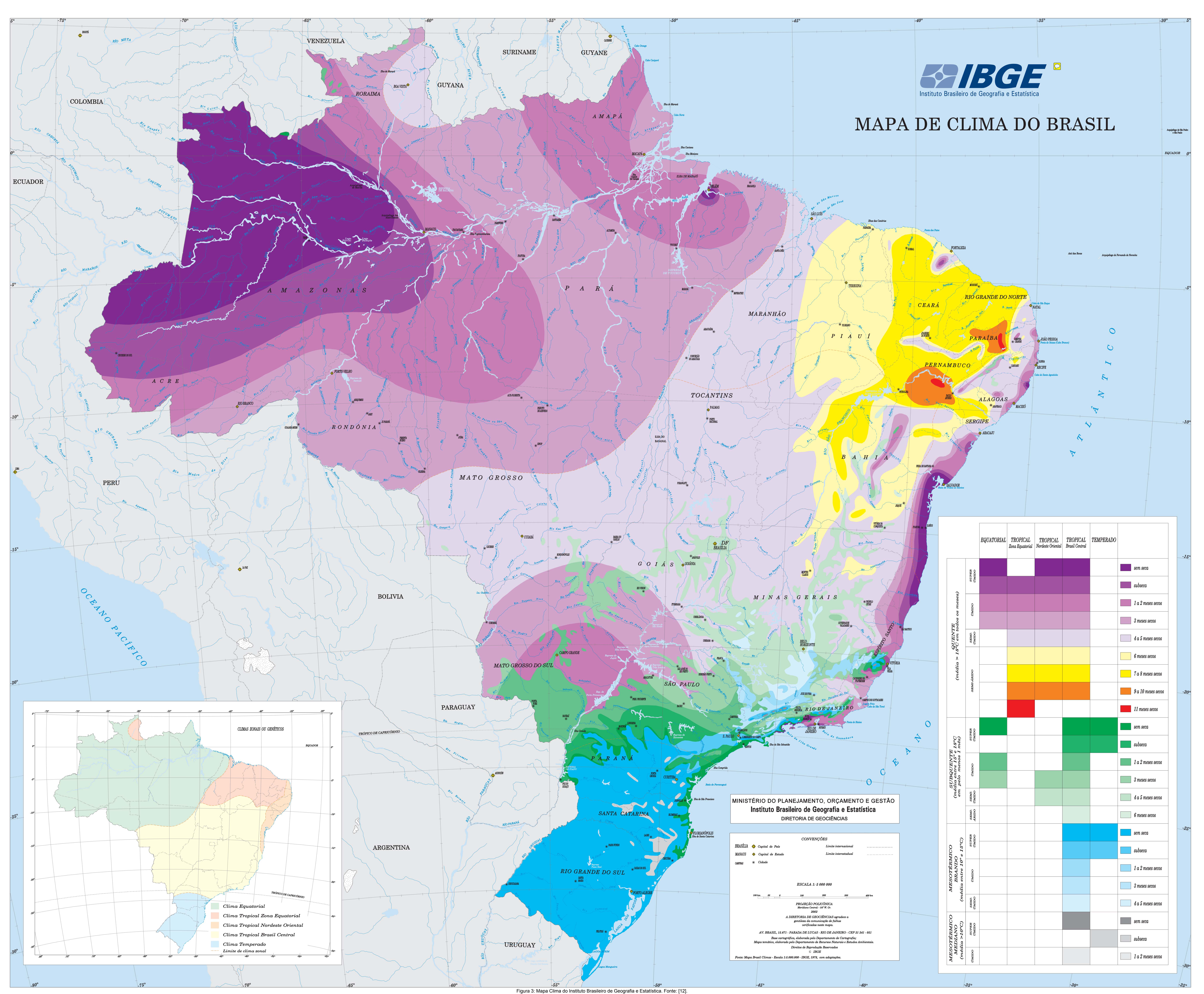
Onde Eh = eficiência de aproveitamento.

Com os valores de eficiência, pode-se estimar o volume médio ofertado (V_{mo}) de água pluvial em $m^3/\text{hab.dia}$ e, por sua vez, determinar o percentual de atendimento em relação a diferentes valores de consumo *per capita* (C_{pc} de 120; 150; 180; 200 e 250 L/hab.dia) e diferentes volumes específicos de reservatório, para tanto utiliza-se a razão entre o valor do volume médio diário de água pluvial ofertada ($m^3/\text{hab.dia}$) e consumo *per capita*, conforme Equações (7) e (8).

$$V_{mo} = E_{a/h} \cdot V_a / 365 \quad (7)$$

$$P_L = V_{mo} / C_{pc} \quad (8)$$

MAPA DE CLIMA DO BRASIL



		EQUATORIAL	TROPICAL Zona Equatorial	TROPICAL Nordeste Oriental	TROPICAL Brasil Central	TEMPERADO	
QUENTE (média > 18°C em todos os meses)	inverno	sem seca					sem seca
	outono	subseca					subseca
	verão						1 a 2 meses secos
	primavera						3 meses secos
	inverno						4 a 5 meses secos
	outono						6 meses secos
SUBQUENTE e FRIA (em pelo menos 1 mês)	inverno						6 meses secos
	outono						7 a 8 meses secos
	verão						9 a 10 meses secos
	primavera						11 meses secos
	inverno						sem seca
	outono						subseca
MESOTÉRMICO FRANCO (média entre 10° e 15°C)	inverno						1 a 2 meses secos
	outono						3 meses secos
	verão						4 a 5 meses secos
	primavera						6 meses secos
	inverno						sem seca
	outono						subseca
MESOTÉRMICO MEDIANO (média > 10°C)	inverno						1 a 2 meses secos
	outono						subseca
	verão						sem seca
	primavera						subseca
	inverno						sem seca
	outono						1 a 2 meses secos

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS

CONVENÇÕES

- BRASILIA: Capital de País
- MANAUS: Capital de Estado
- GATUNO: Cidade
- Limites internacionais
- Limites estaduais

ESCALA 1: 5 000 000

PROJEÇÃO POLARIZADA
Meridiano Central: 47° W. G.

AV. BRASIL, 16.671 - PARADA DE LUCAS - RIO DE JANEIRO - CEP 21.941-061
Este cartograma, elaborado pelo Departamento de Cartografia,
Mapa temático, elaborado pelo Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.
Diretoria de Reprografia e Cartografia
IBGE

Fonte: Mapa Brasil Clima - Escala 1:6.000.000 - IBGE, 1978, com adaptações.

Figura 3: Mapa Clima do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Fonte: [12]

5.Resultados e Discussão

Segundo o mapa clima do Instituto Brasileiro Geografia e Estatística [12] foram selecionadas os seguintes municípios com os respectivos climas:

- *Salvador*: super quente, tropical, super úmido (sem seca ou sub seca);
- *Recife*: super quente, tropical, úmido (de 1 a 3 meses de seca);
- *Teresina*: quente, tropical, semi árido (de 6 a 8 meses de seca);
- *Florianópolis*: subquente, temperado, super úmido (subseca);
- *Presidente Prudente*: subquente, tropical, úmido (de 1 a 3 meses de seca);
- *Belo Horizonte*: subquente, tropical, semi úmido (de 4 a 6 meses de seca);
- *São Paulo*: mesotérmico brando, tropical, úmido (de 1 a 3 meses de seca).

Foram calculadas as médias de precipitação diária com base em dados de 10 anos consecutivos de chuvas. Para o município de Presidente Prudente os dados utilizados foram os dos anos de 1993 até 1998 e de 2000 a 2003; e para o município de São Paulo os dados utilizados foram os dos anos de 1994 até 2004. Os gráficos com as médias mensais de precipitação apresentados na Figura 4.

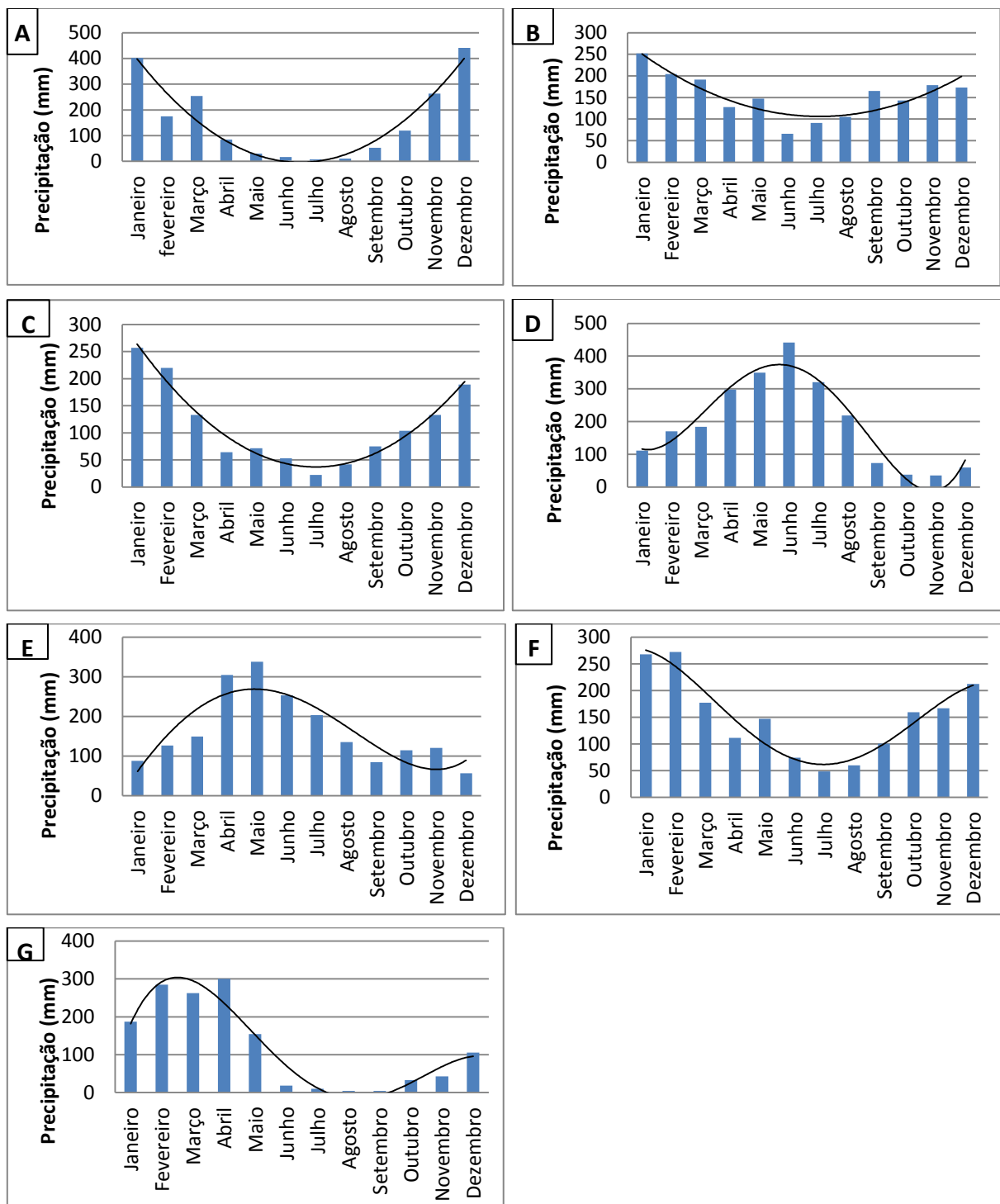


Figura 1: Precipitações mensais médias com base nos dados dos anos de 2003 a 2012 para os municípios de Belo Horizonte (A), Florianópolis (B), Presidente Prudente (C), Recife (D), Salvador (E), São Paulo (F) e Teresina (G).

As médias mensais de cada região mostram a tendência das chuvas durante o ano. É possível observar a grande variação dos regimes pluviais nos municípios, o que ocorre principalmente devido ao tamanho latitudinal do território brasileiro. Enquanto que nas localidades de Belo Horizonte, Florianópolis, São Paulo e Presidente Prudente o pico de chuva ocorre ao final e no começo do ano, nos meses correspondentes ao verão no Brasil, nos demais municípios observa-se a inversão desses picos, ocorrendo chuvas mais abundantes em meses característicos do inverno. Também é possível observar diferenças nas constâncias das chuvas ao longo do ano: enquanto que Florianópolis se apresenta como a cidade com menor variação de chuvas ao longo do ano, Teresina apresenta picos com alta precipitações e um período de intensa seca.

Dentre os municípios estudados Teresina e Florianópolis correspondem ao município mais seco e mais úmido, respectivamente, sendo classificados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [12] como clima tropical semi árido (6 a 8 meses de seca) e clima temperado super úmido (sem seca). Foram destacados os anos mais úmidos e mais secos nas regiões dentro do conjunto dos anos pesquisados. Para Teresina, observou-se que o ano mais seco foi o ano de 2012, no qual houve uma precipitação total de 967,2 mm; o ano mais úmido foi o ano de 2009, com precipitação total de 2028 mm. Para Florianópolis, o ano mais seco corresponde a 2006, com precipitação total de 1141,6 mm enquanto que o ano de 2008, o ano mais úmido, teve precipitação total de 2888,9 mm. Essa variação anual pode ser explicada pelo o fato de a quantidade de chuvas de uma região tender a oscilar entre períodos mais secos e períodos mais úmidos, como mostrado na Figura 5.

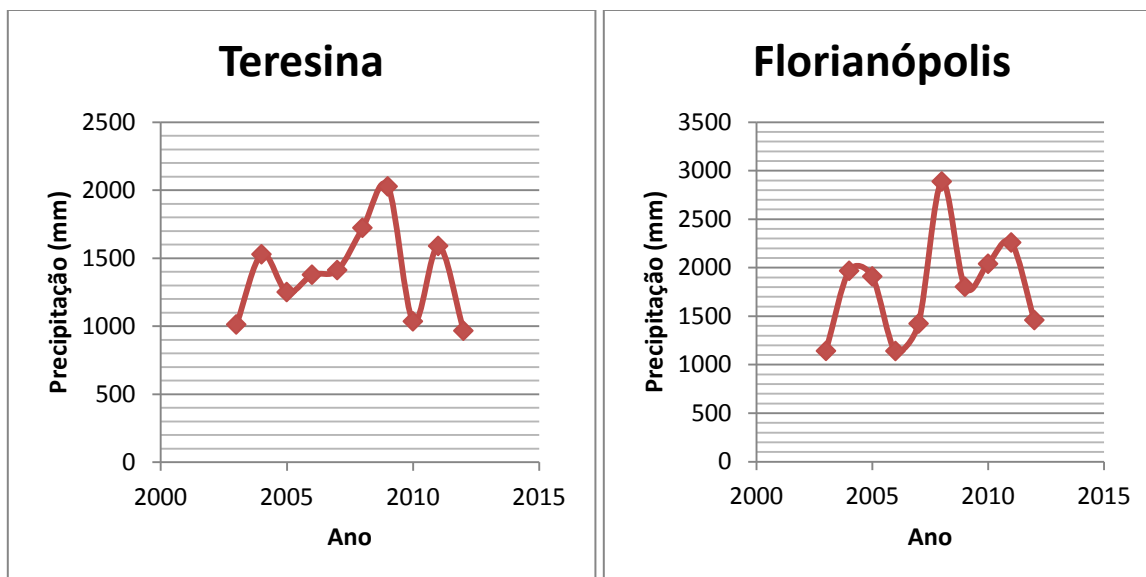


Figura 2: Chuva anual nos municípios de Teresina e Florianópolis para os anos de 2002 a 2012.

Nas simulações, a fim de facilitar futuras utilizações, a área de cobertura foi parametrizada por habitante, tendo amplitude de valores desde 4 m²/hab até 300 m²/hab. Foram retratados cenários para volumes parametrizados de 0,5, 1, 2 e 3 m³/hab. de reservatórios e para consumos *per capita* de 120, 150, 180, 200 e 250 L/hab.dia. Os gráficos obtidos encontram-se nas Figuras 6 a 25.

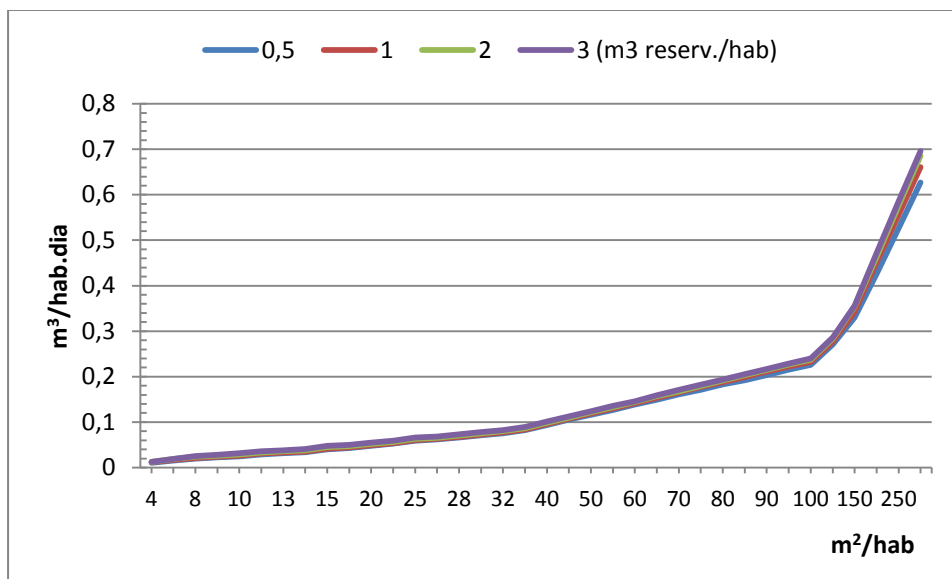


Figura 3: Volume de água de chuva que pode ser ofertados por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Belo Horizonte.

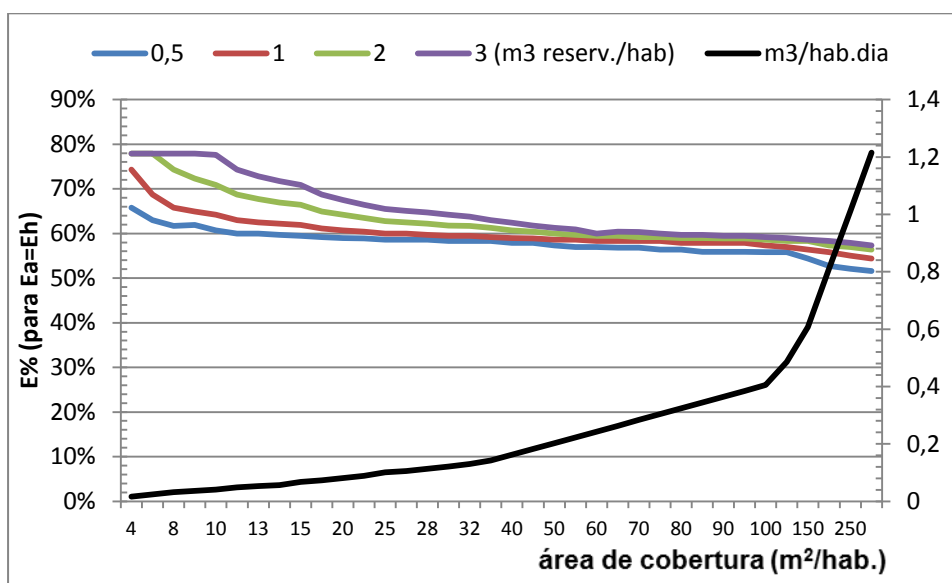


Figura 4: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Belo Horizonte.

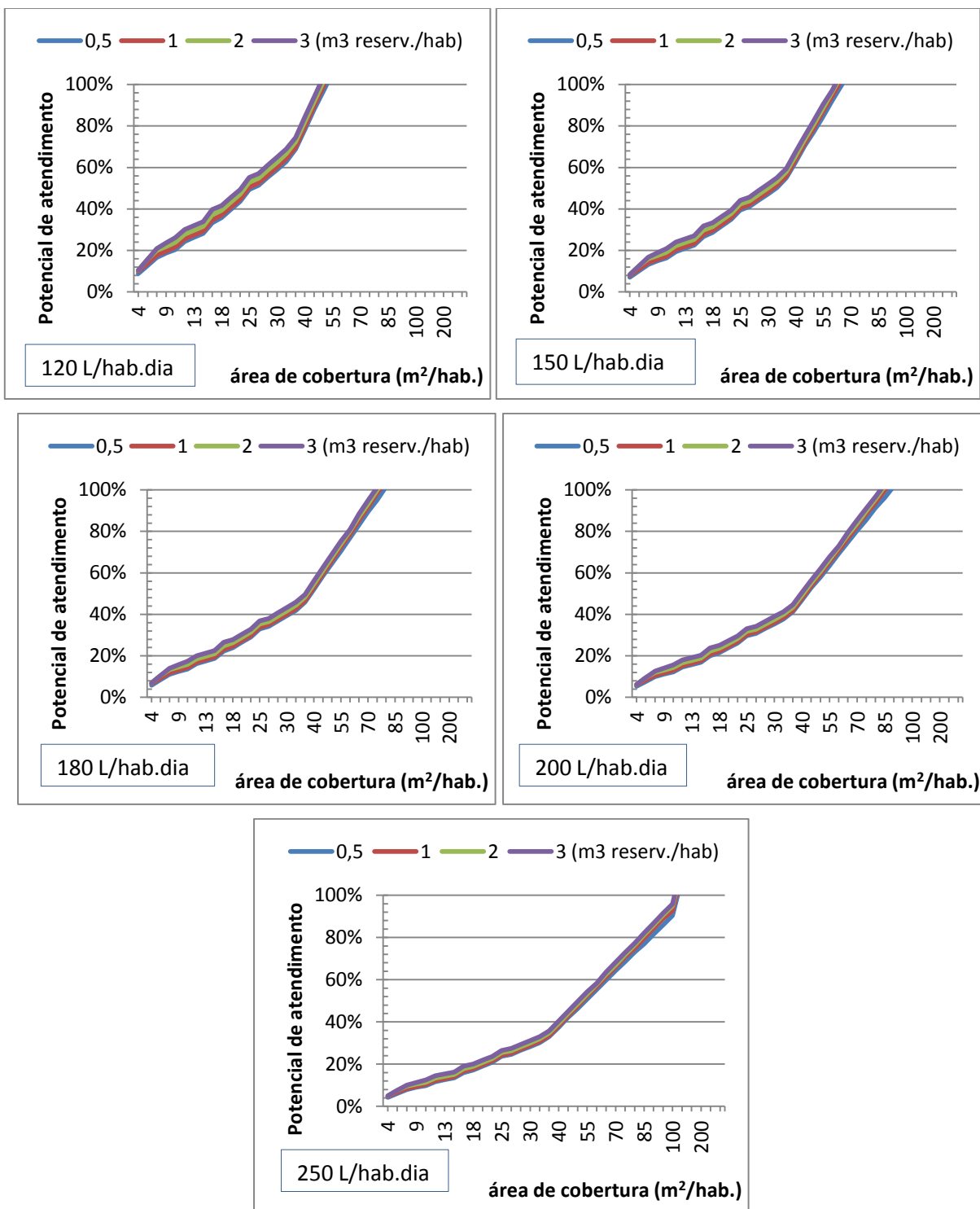


Figura 5: Valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Belo Horizonte.

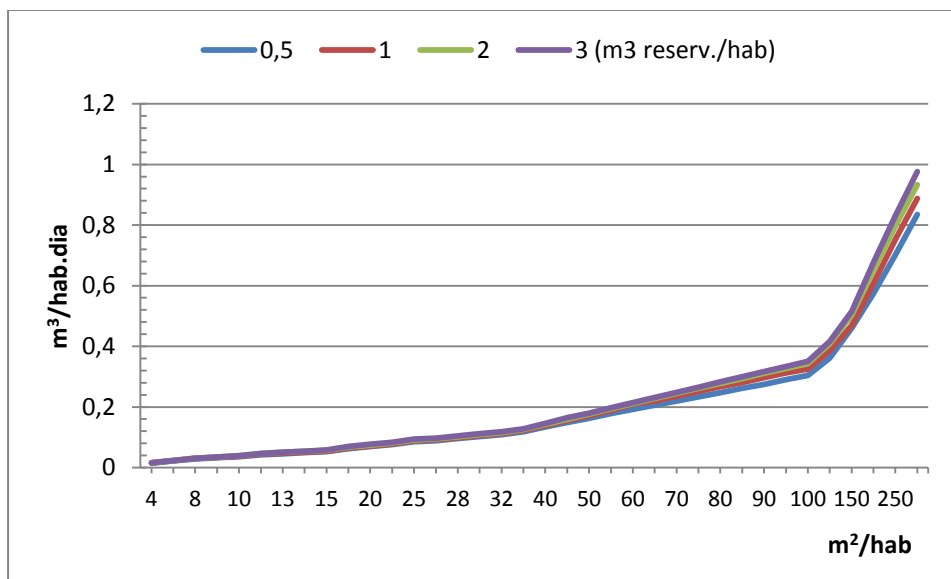


Figura 6: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Florianópolis.

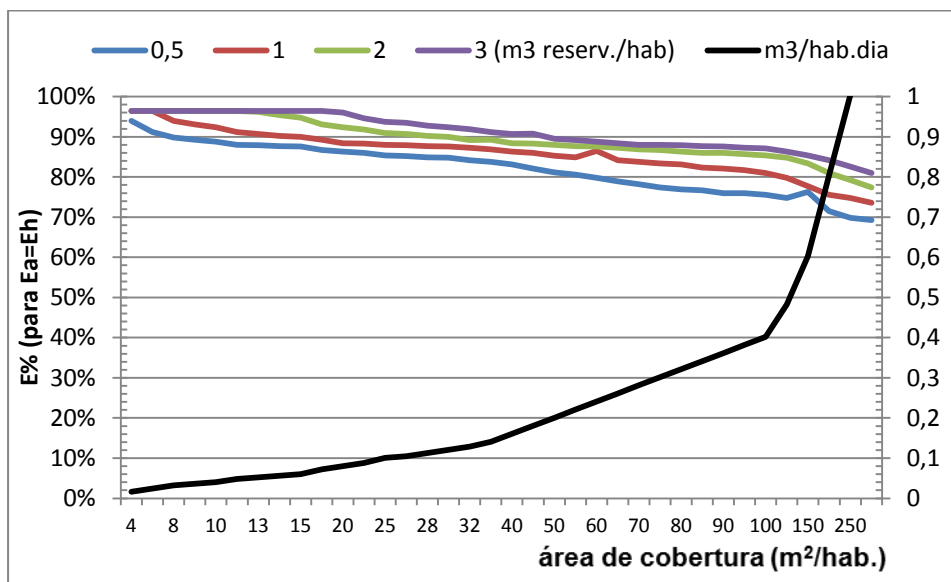


Figura 7: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Florianópolis.

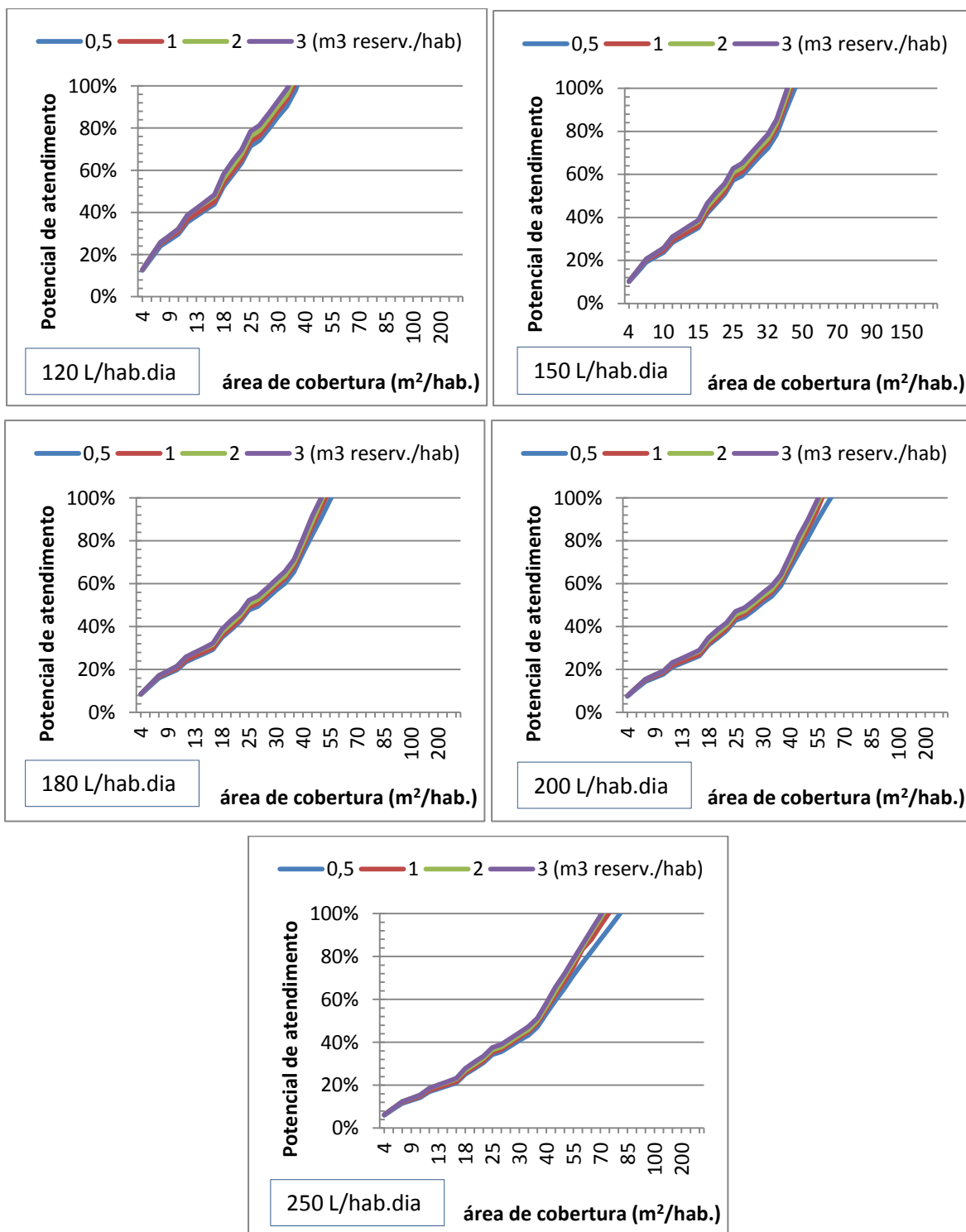


Figura 8: Valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Florianópolis.

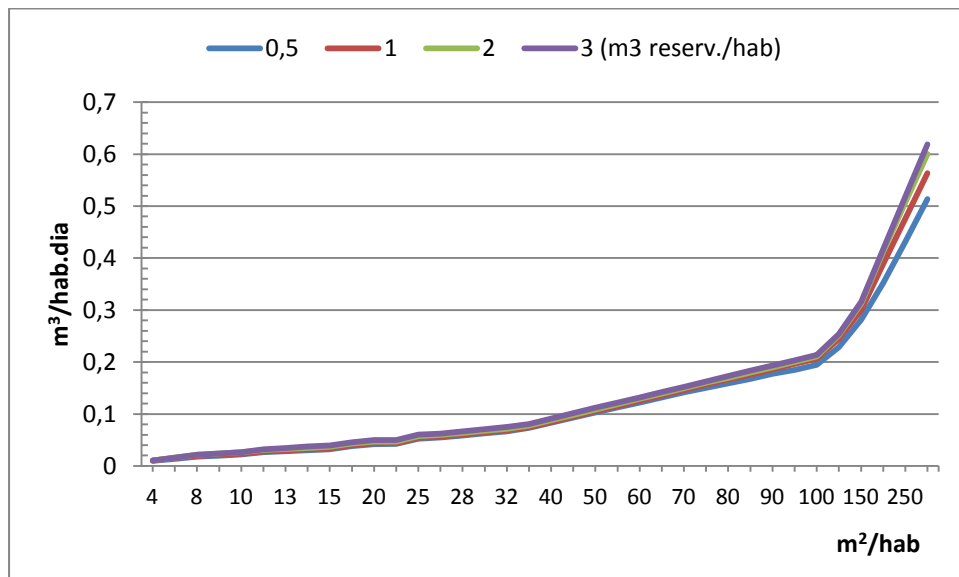


Figura 9: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Presidente Prudente.

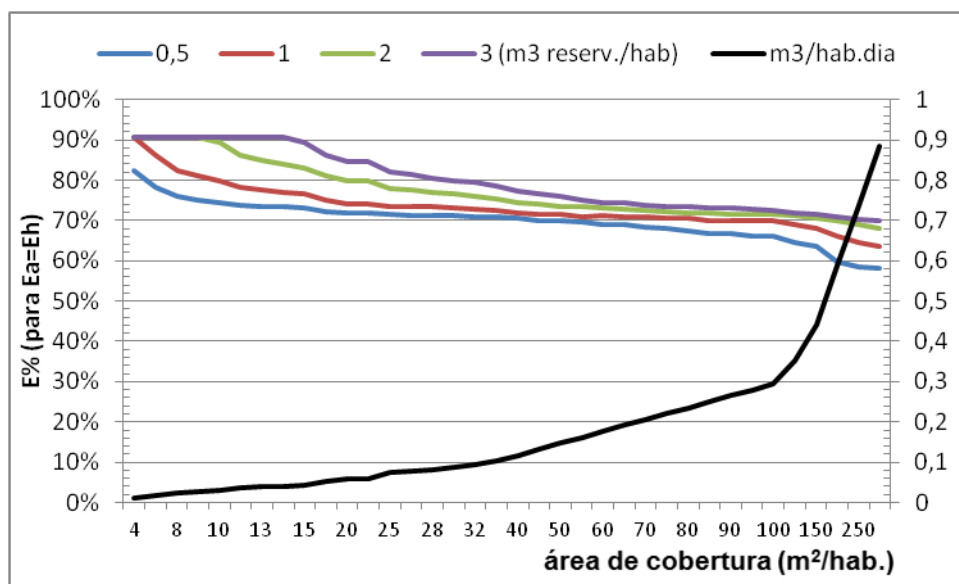


Figura 10: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Presidente Prudente.

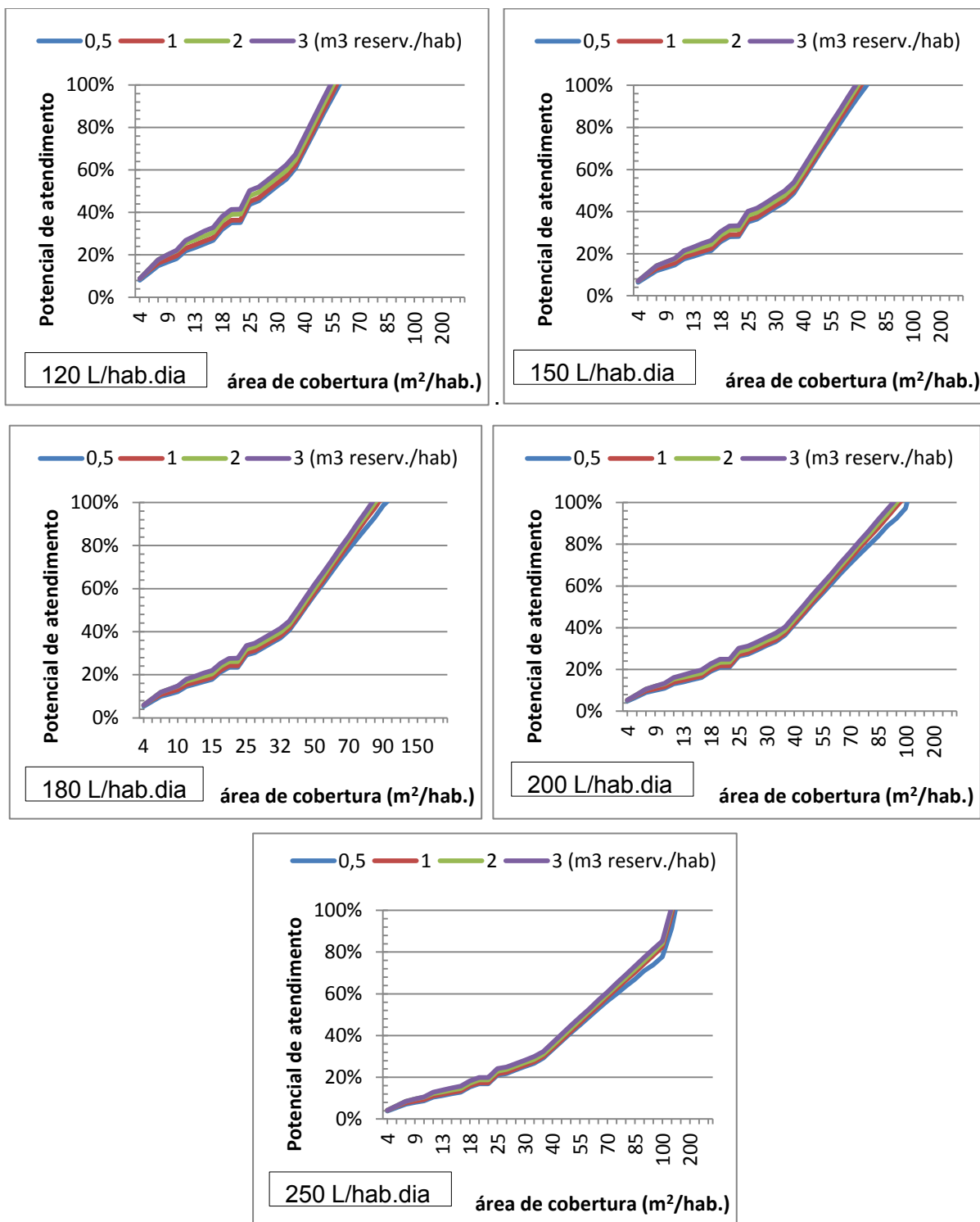


Figura 11: Valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Presidente Prudente.

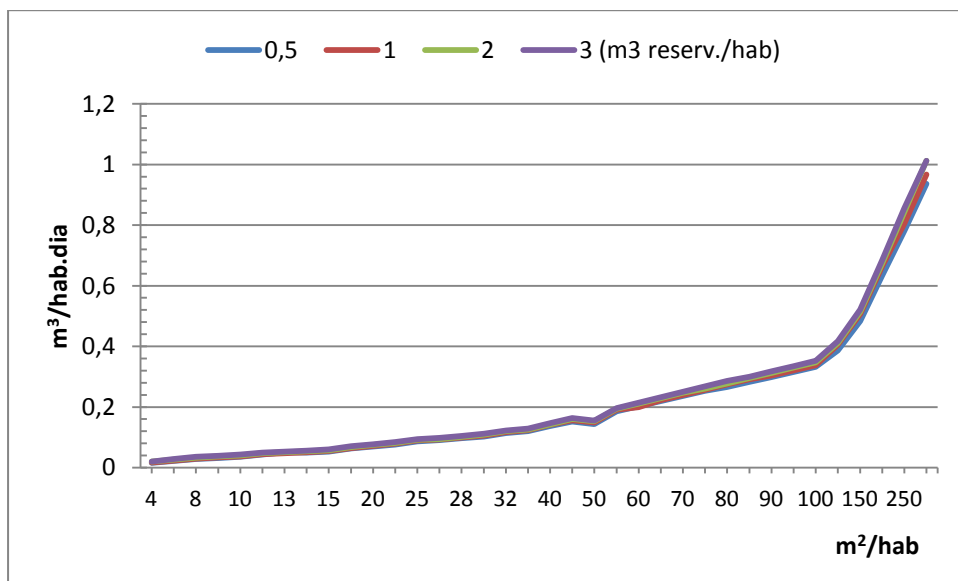


Figura 12: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Recife.

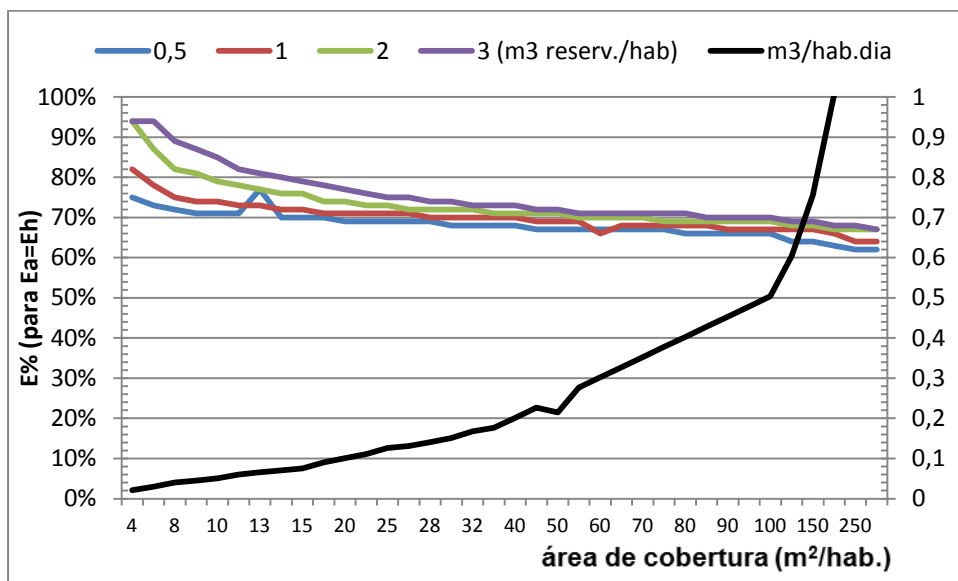


Figura 13: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Recife.

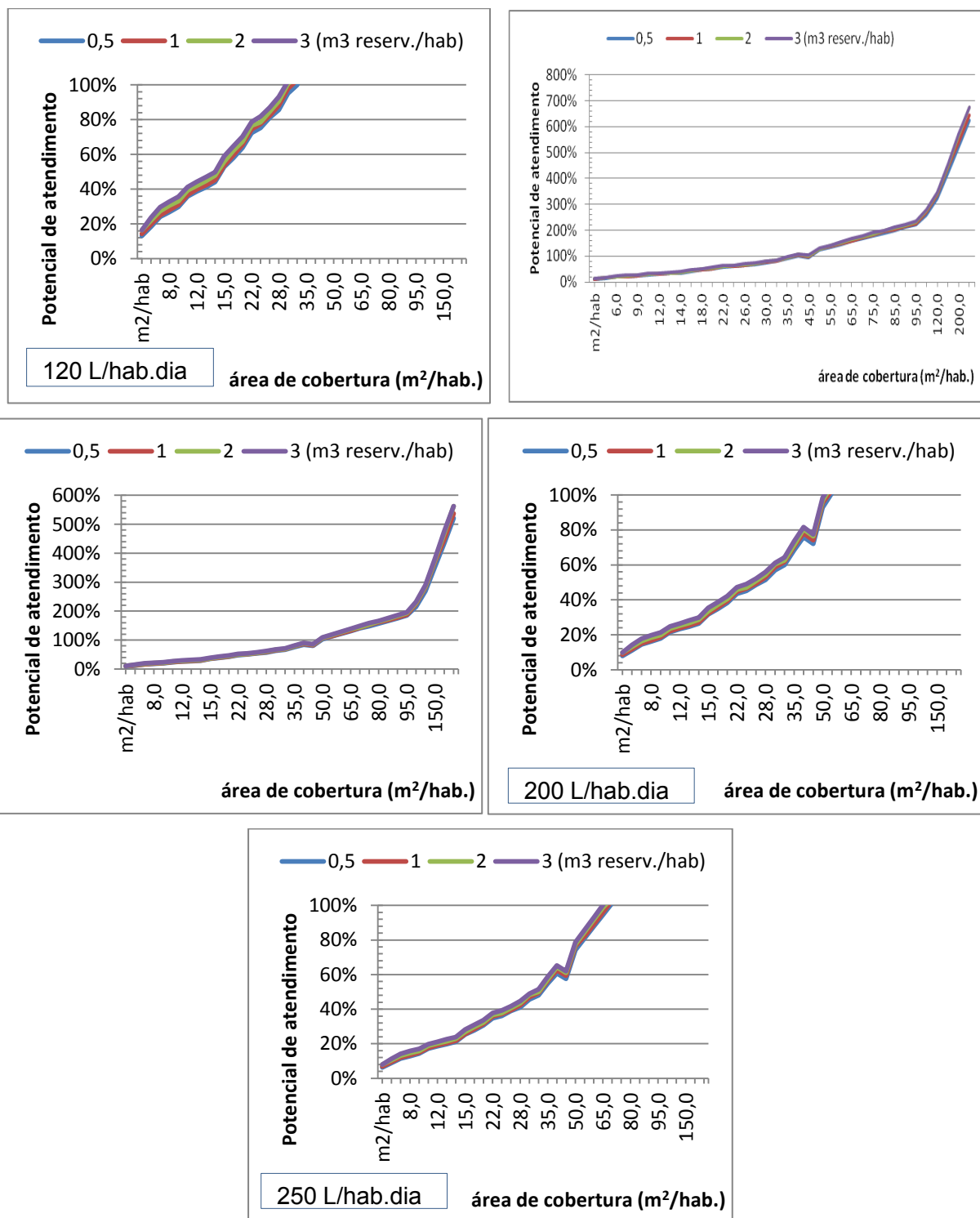


Figura 14: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Recife.

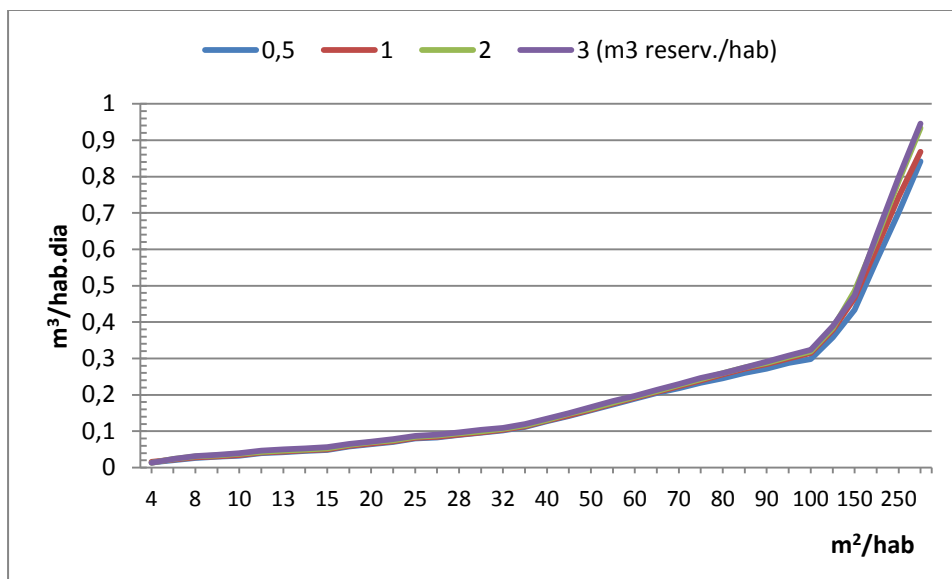


Figura 15: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Salvador.

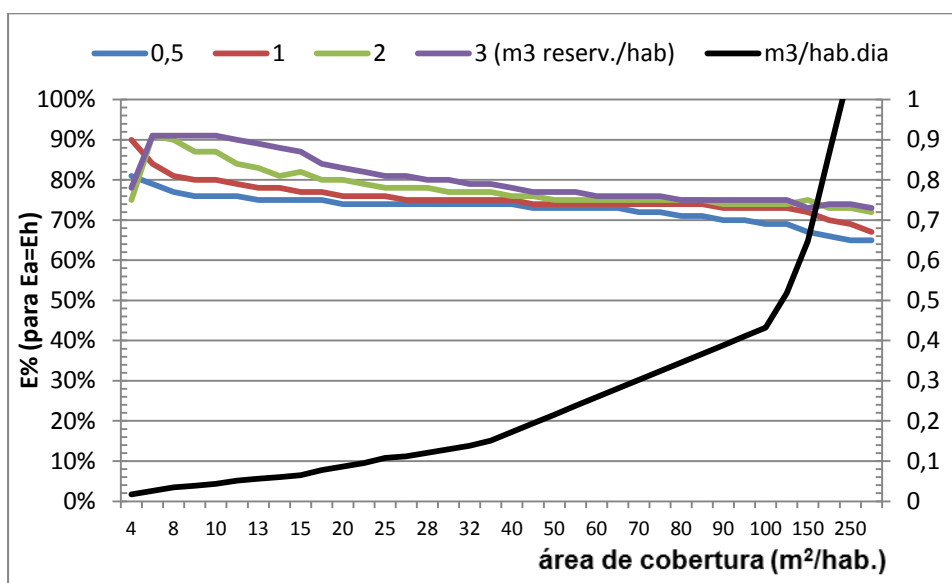


Figura 16: Valores das eficiências ($E_a=E_f$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Salvador.

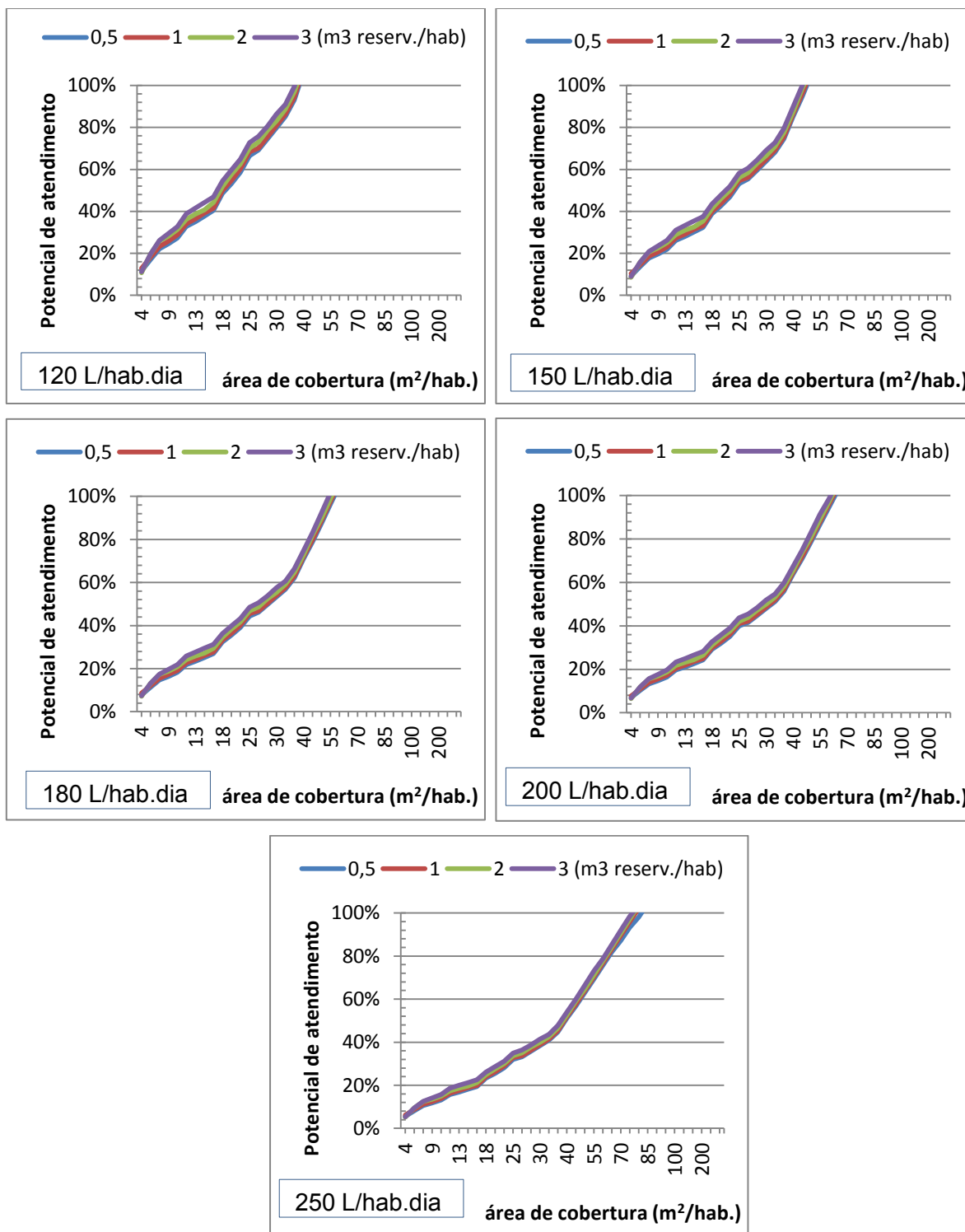


Figura 17: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Salvador.

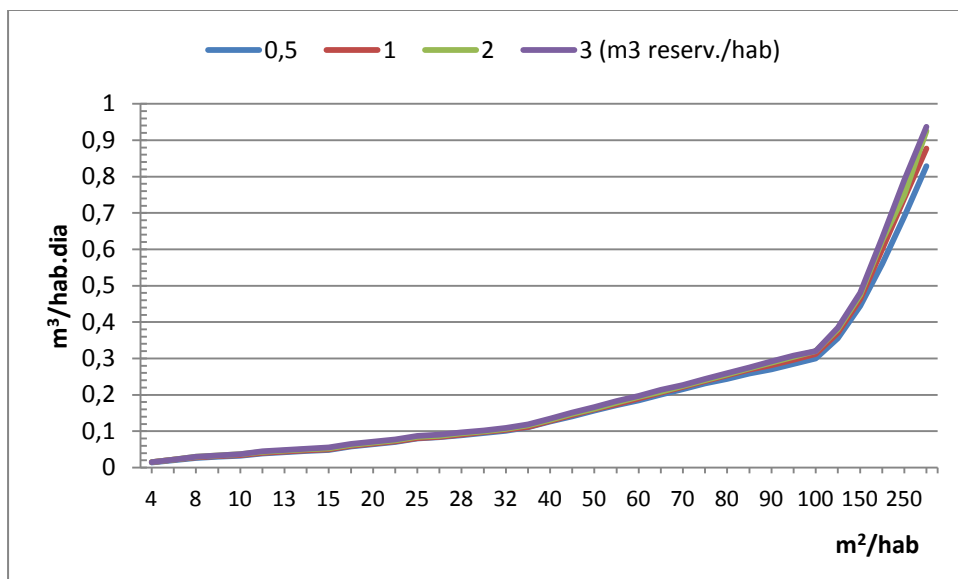


Figura 18: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de São Paulo.

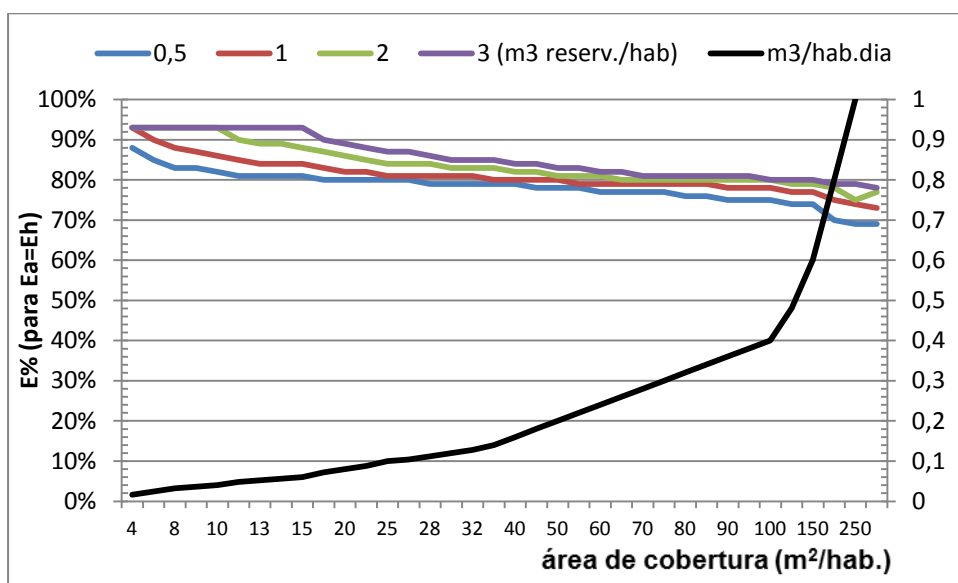


Figura 19: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de São Paulo.

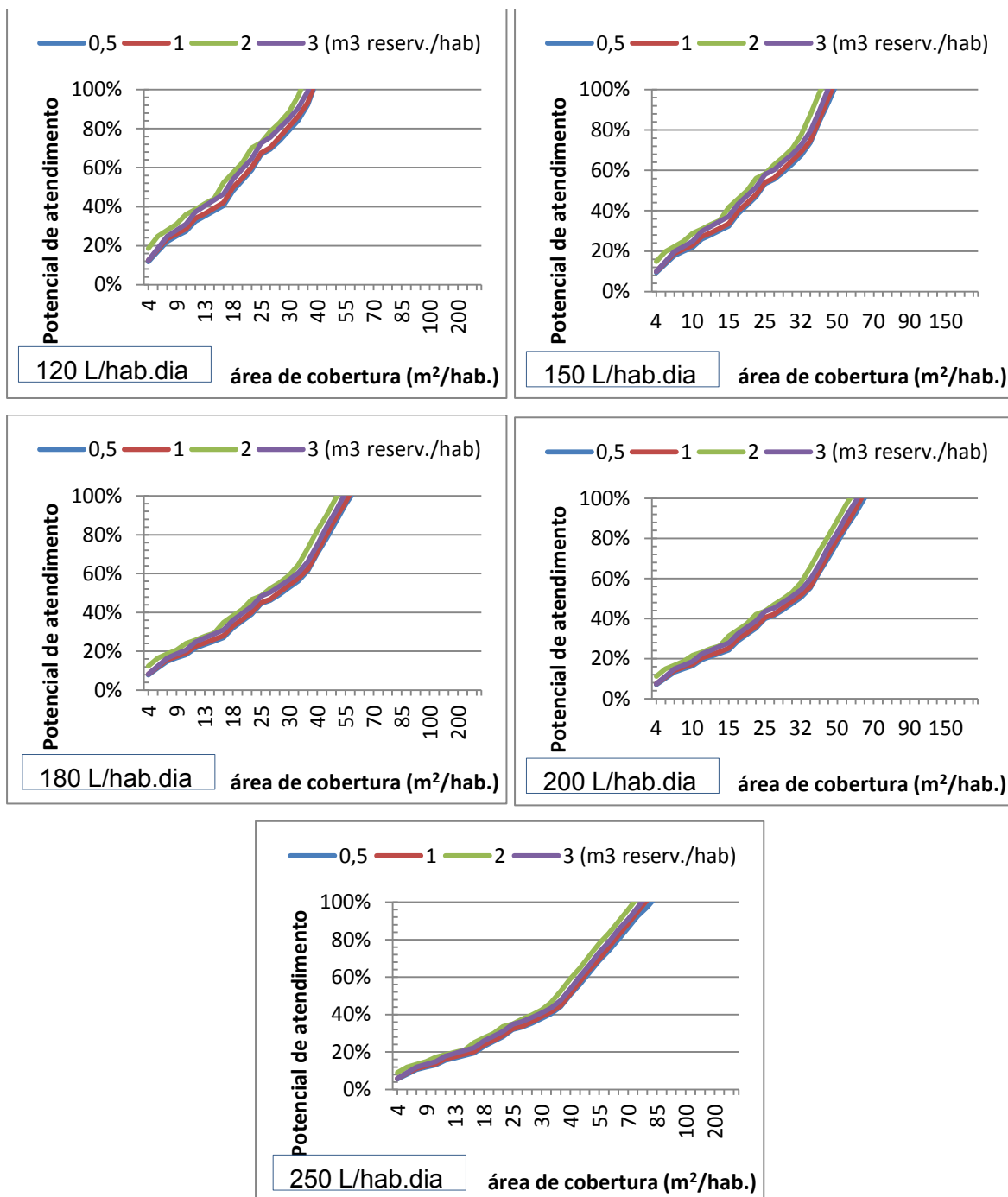


Figura 20: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de São Paulo.

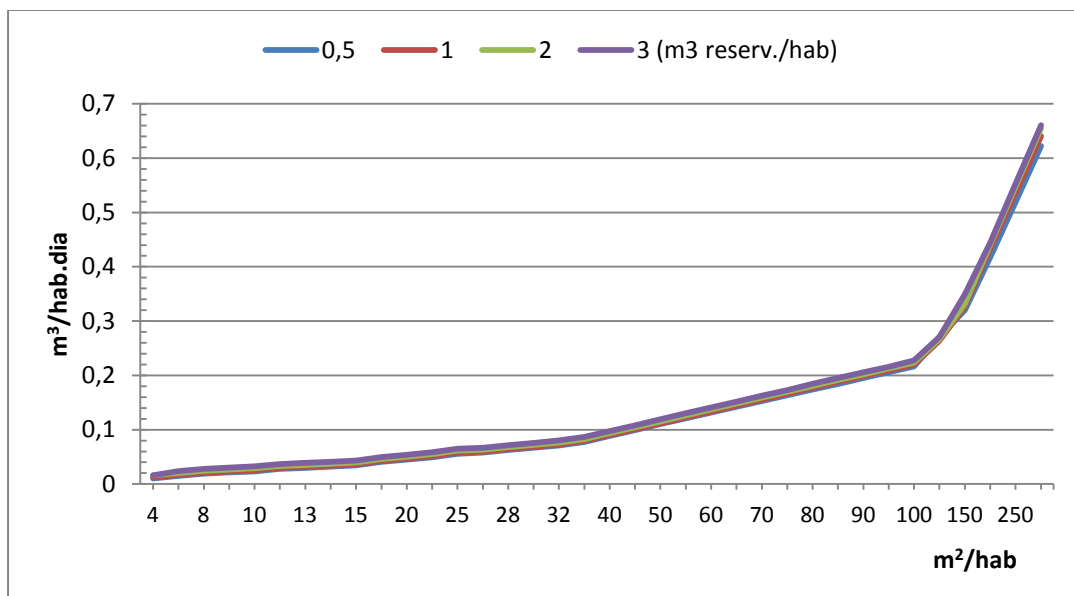


Figura 21: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Teresina.

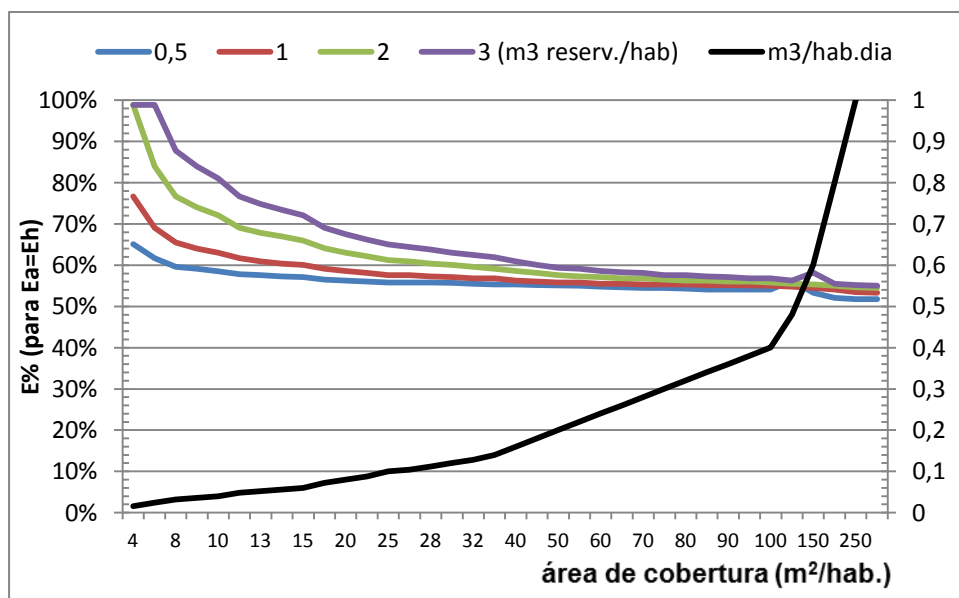


Figura 22: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Teresina.

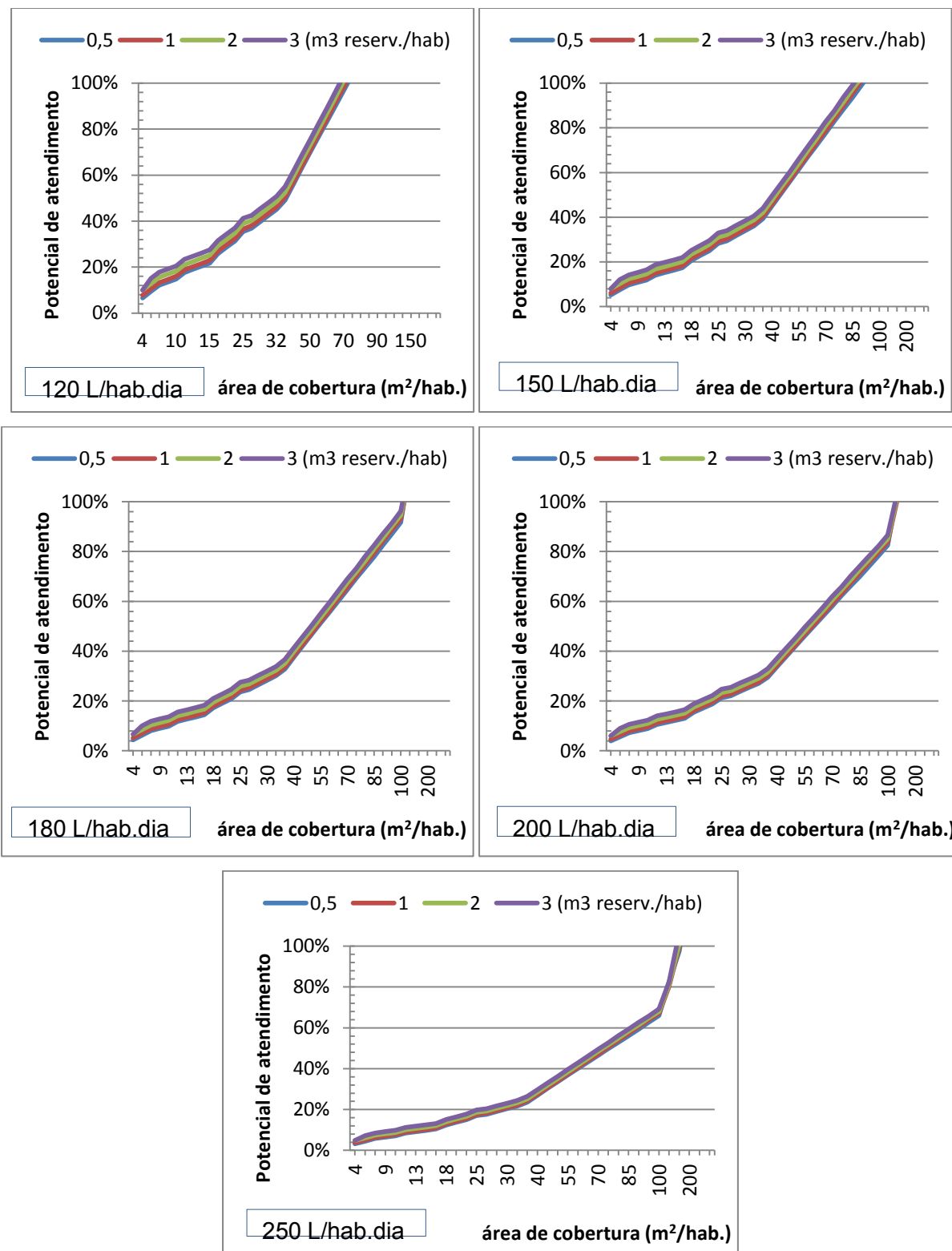


Figura 23: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Teresina.

Foi possível verificar que a eficiência do sistema decresce com o aumento de área de cobertura ao mesmo tempo em que ela cresce com o aumento do volume do reservatório, o que leva a inferir que esses dois fatores são determinantes no comportamento do sistema. A demanda ótima de água apresentou, em todos os casos, aumento apenas com o aumento da área de captação.

Os municípios de Florianópolis e Recife apresentaram maior aproveitamento de água por metro quadrado de área de cobertura, como mostram as Figuras 10 e 16; enquanto que os municípios de Teresina e Belo Horizonte apresentaram os menores, como mostram as Figuras 25 e 7. Esse fato pode ser associado à constância e abundâncias das chuvas em cada local: Florianópolis e Recife apresentam alto índice de chuvas com um curto ou nenhum período de secas ao passo que Teresina e Belo Horizonte apresentam chuvas em menor abundância e mal distribuídas ao longo do ano. Apesar de haver alta precipitação em certos meses do ano, a má distribuição de chuvas pode levar, para volumes de reservatórios pequenos como os simulados nesse trabalho, um grande declínio na eficiência e disponibilidade de água. Isso ocorre devido à impossibilidade do reservatório de armazenar um volume ocioso, o que gera falhas em certas ocasiões. Associado a este fato, pode-se observar para todos os casos grande proximidade entre os valores das eficiências para diferentes volumes de reservatórios, o que não é observado nas simulações de anos específicos referentes as cidades de Florianópolis e Teresina, como mostrado nas Figuras 26 a 37.

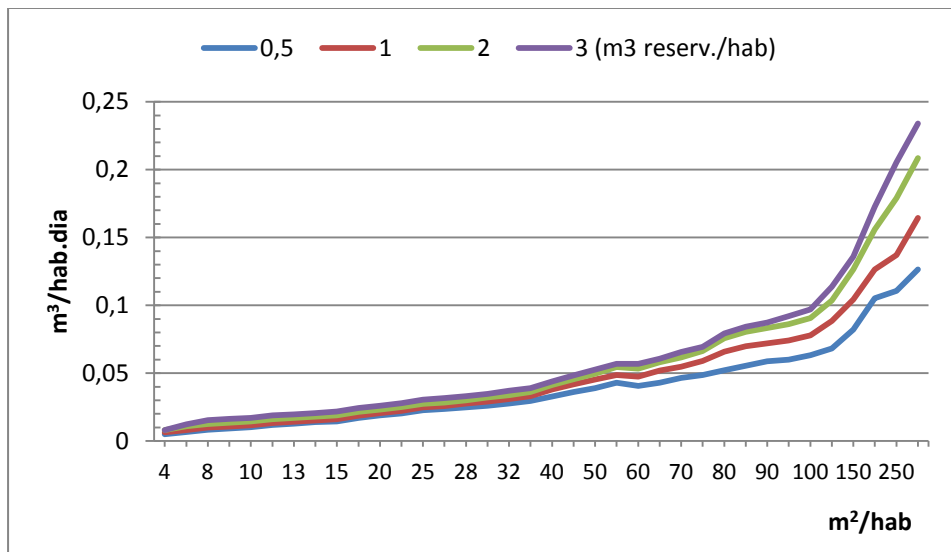


Figura 24: Volume de água de chuva que pode ser ofertados por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Teresina no ano mais seco.

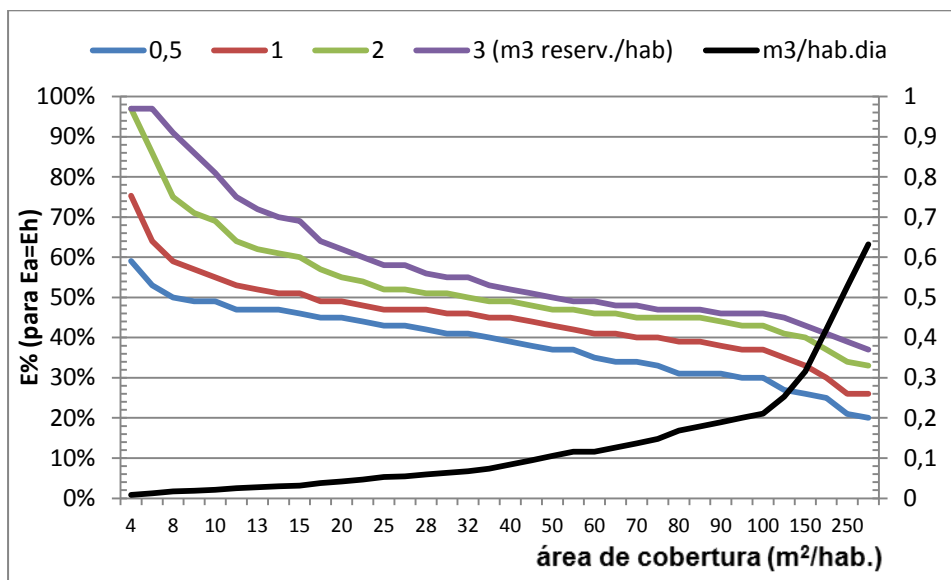


Figura 25: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de coberturas para o município de Teresina no ano mais seco.

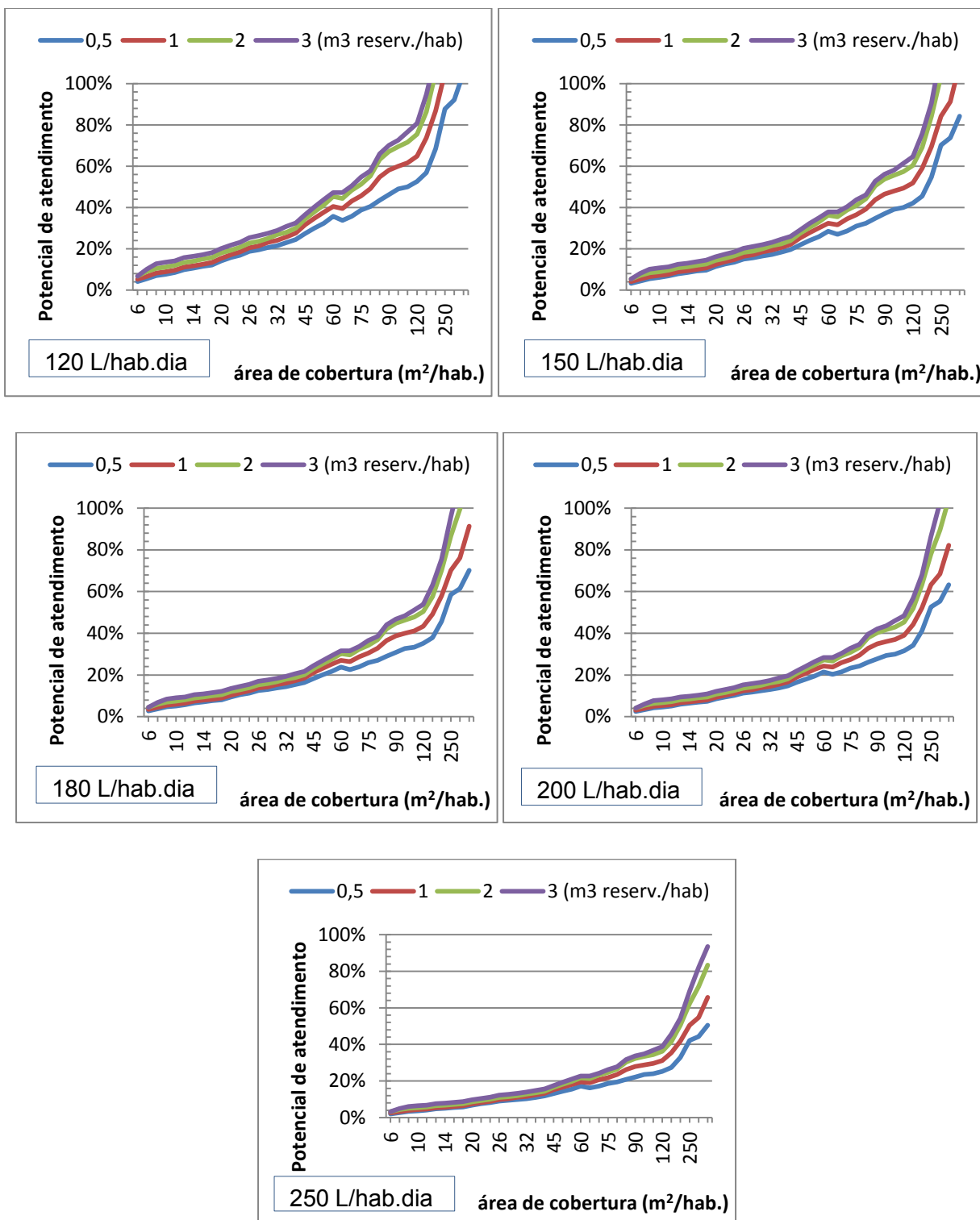


Figura 26: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Teresina no ano mais seco.

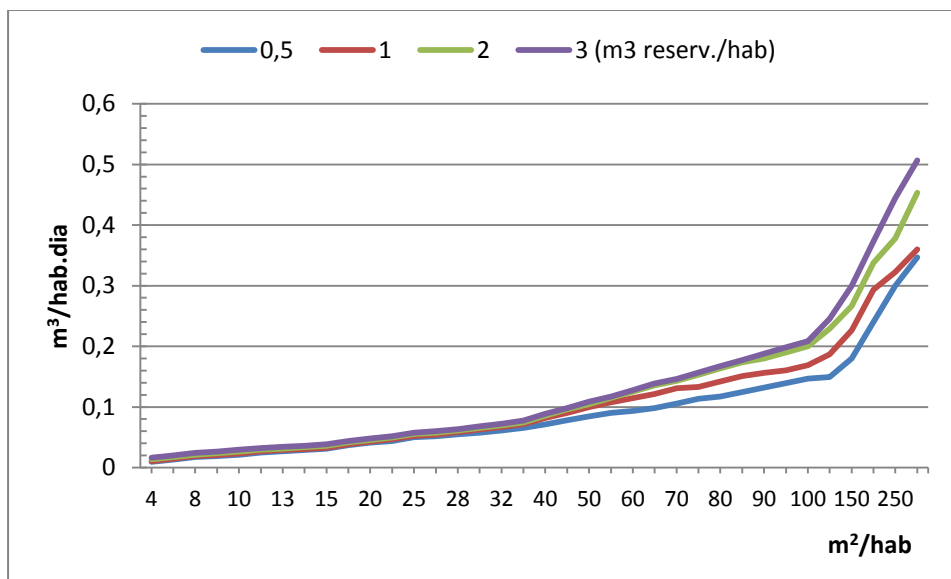


Figura 27: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Teresina no ano mais úmido.

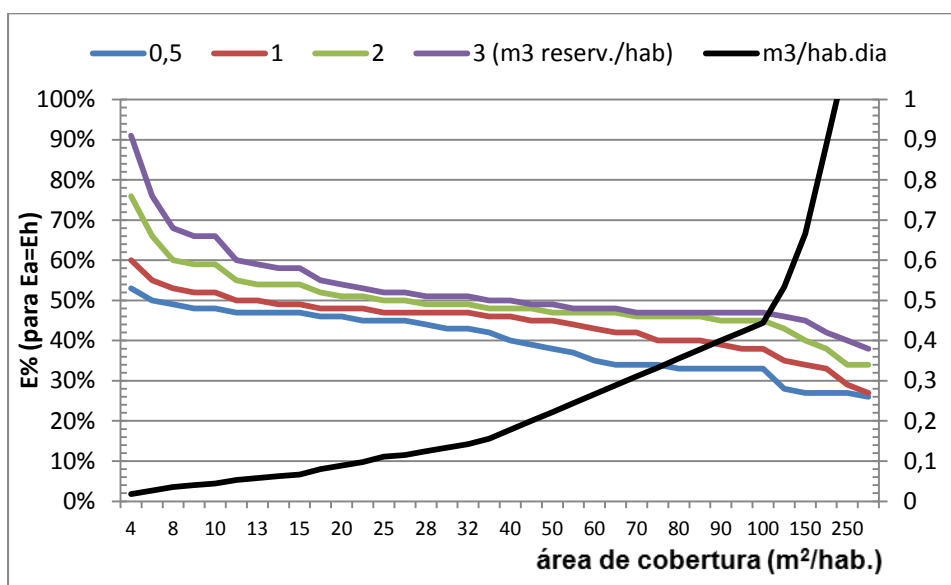


Figura 28: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Teresina no ano mais úmido.

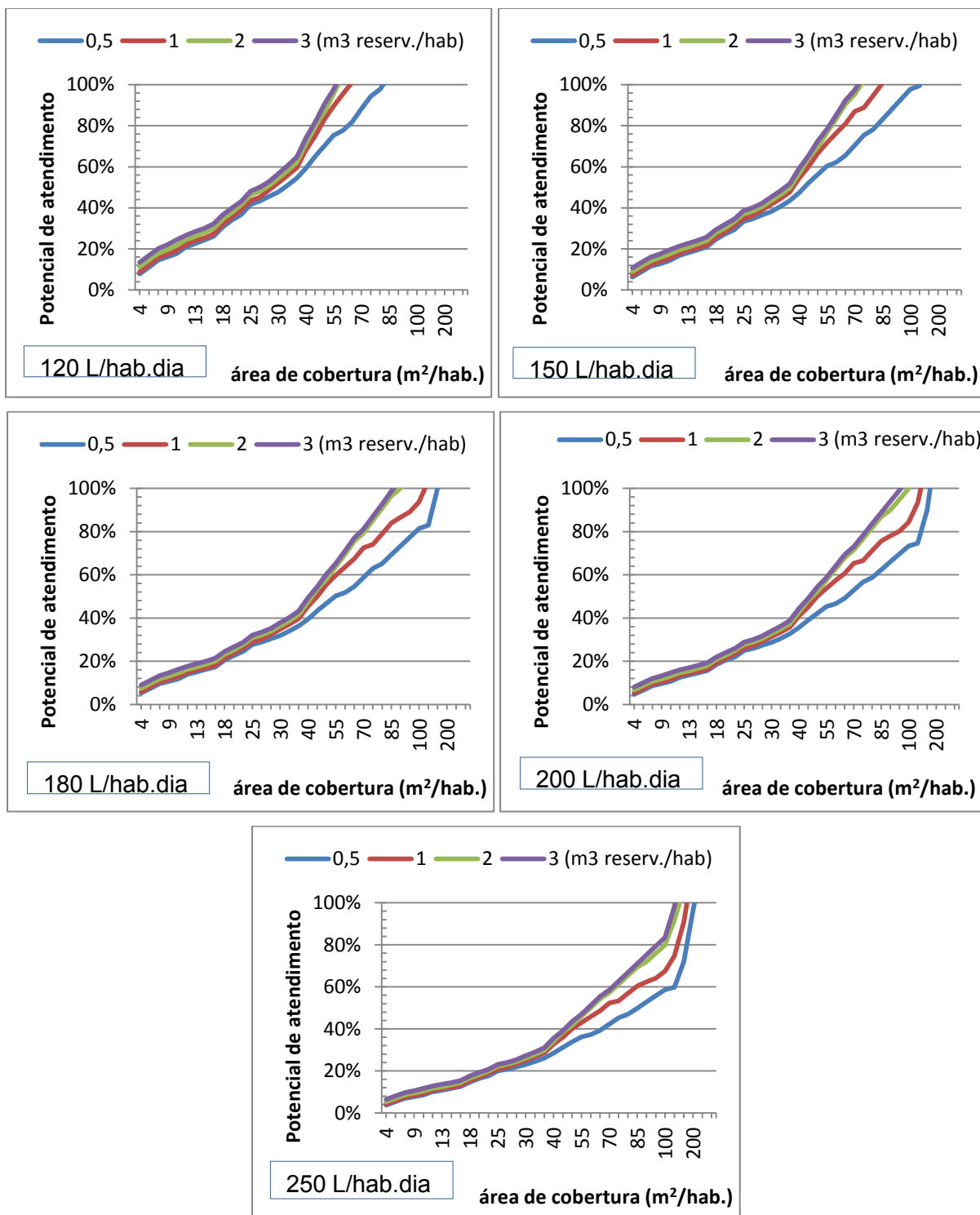


Figura 29: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Teresina no ano mais úmido.

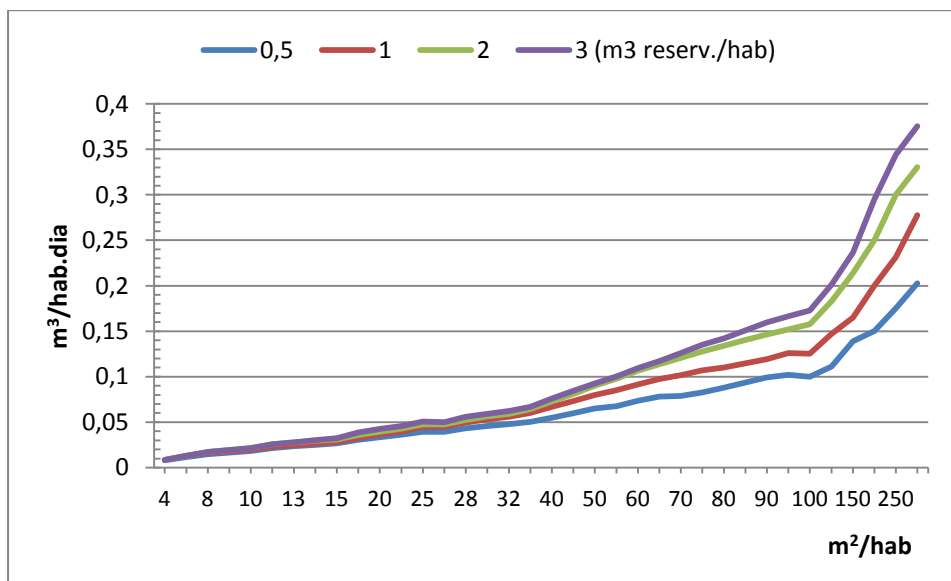


Figura 30: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Florianópolis no ano mais seco.

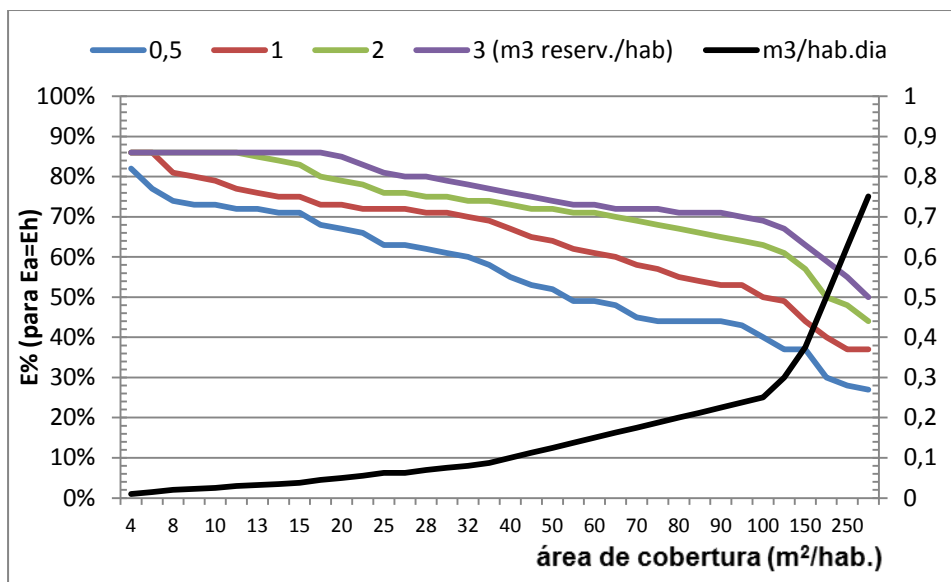


Figura 31: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Florianópolis no ano mais seco.

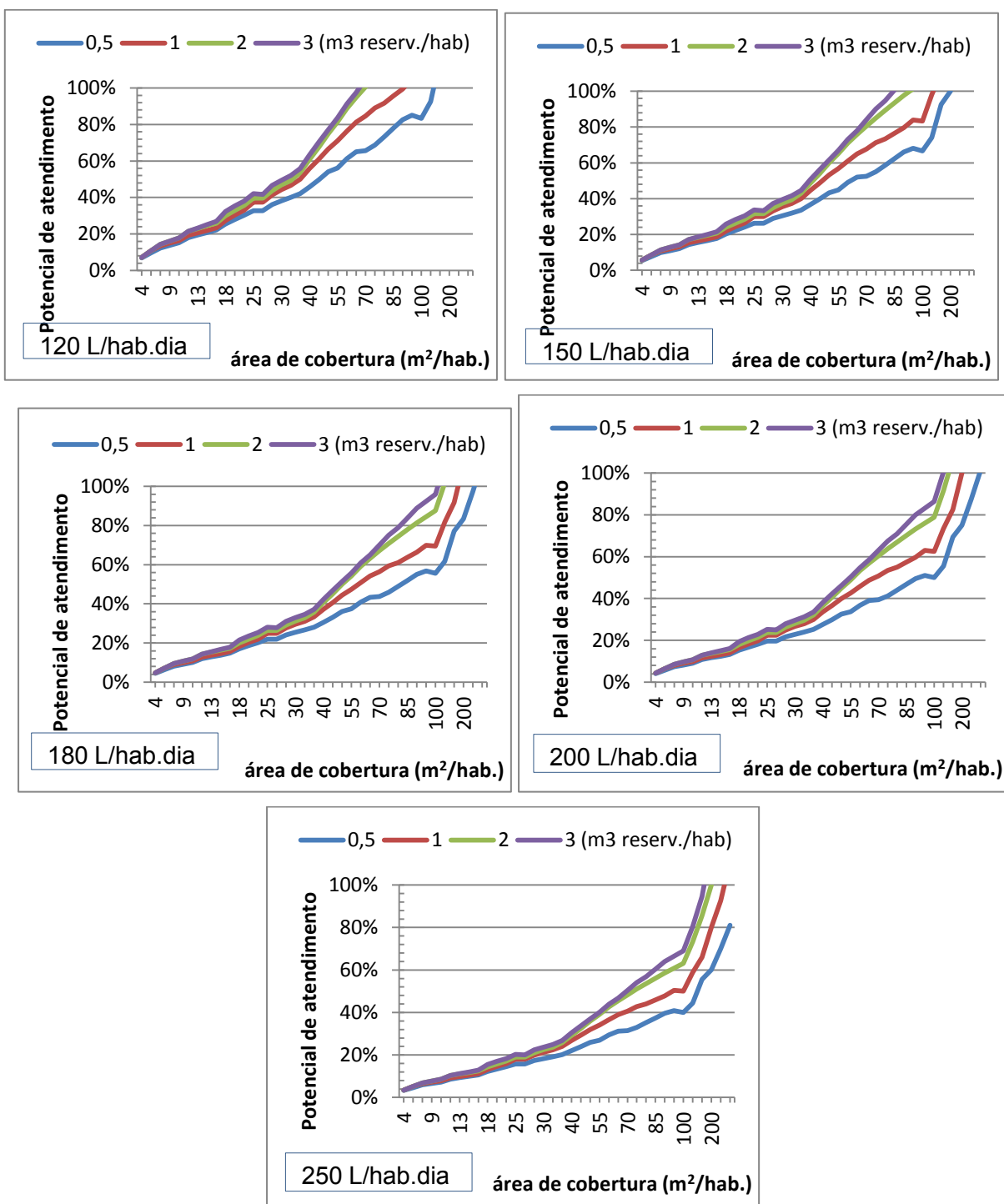


Figura 32: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Florianópolis no ano mais seco.

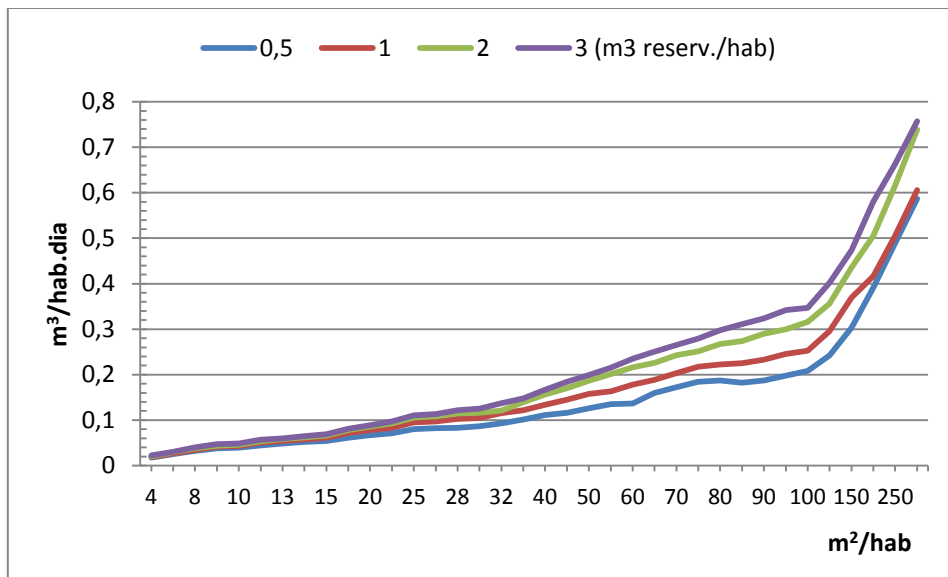


Figura 33: Volume de água de chuva que pode ser ofertado por habitante e por dia de acordo com a área de cobertura também padronizada por habitante para o município de Florianópolis no ano mais úmido.

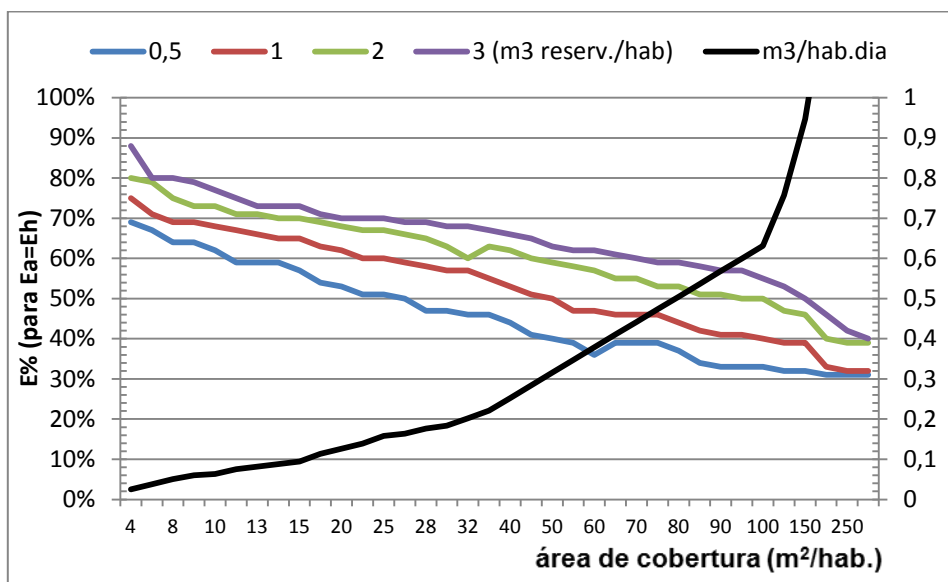


Figura 34: Valores das eficiências ($E_a=E_h$) e da demanda ótima de água para as diferentes áreas de cobertura para o município de Florianópolis no ano mais úmido.

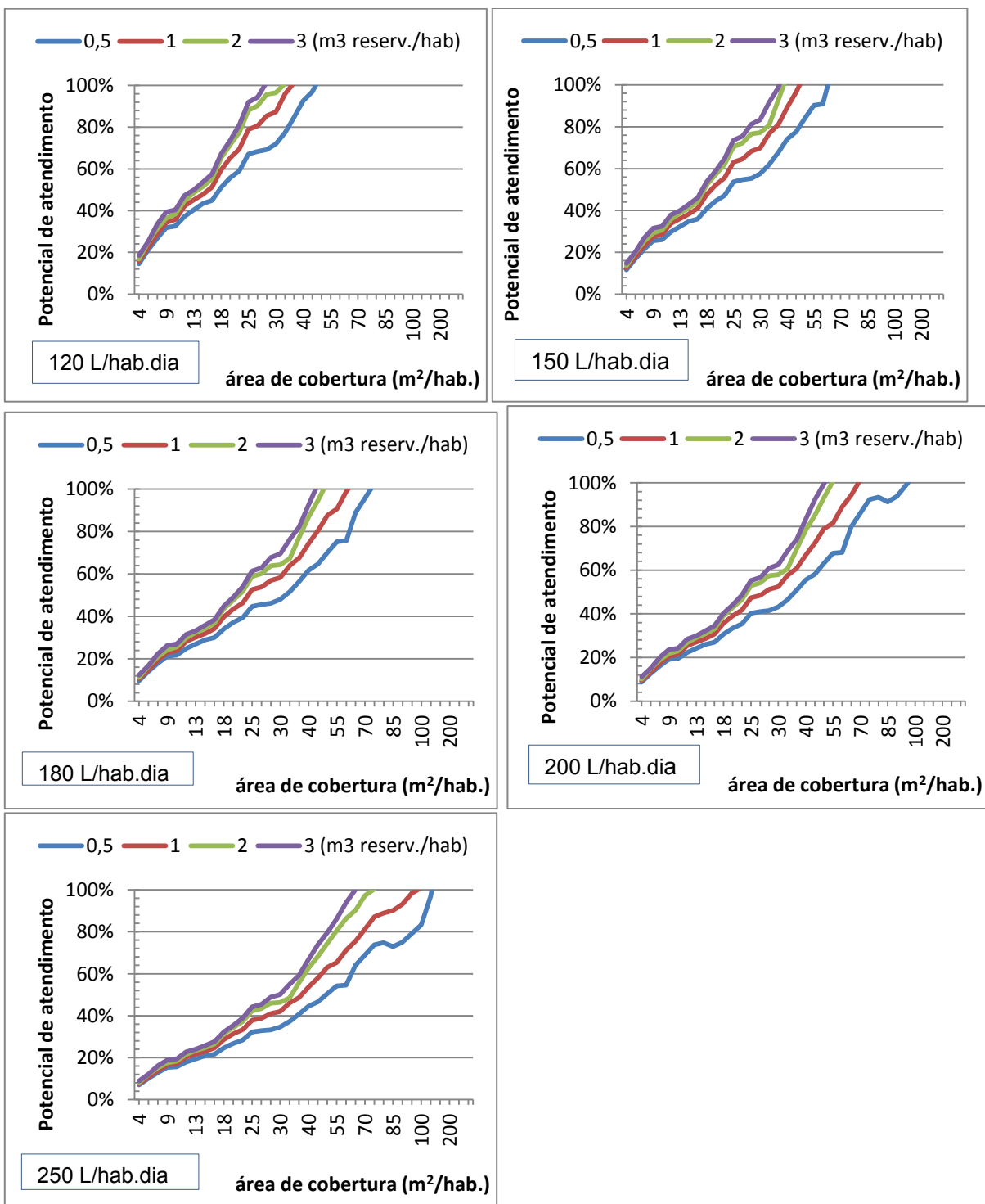


Figura 35: valores dos potenciais de atendimento por área de cobertura para demandas de 120, 150, 200 e 250 L/hab.dia para o município de Florianópolis no ano mais úmido.

Nas simulações com anos específicos (Figuras 28 a 38) ficam mais evidentes os resultados para diferentes volumes de reservatórios. Esse fato ocorre pois, quando é realizado o cálculo das médias diárias de chuvas com base em muitos dados, há uma tendência de padronização na precipitação, fazendo com que as chuvas se distribuam uniformemente, o que tende a diminuir as falhas diárias que o método tende a ter (nos dias sem ou com pouca chuva) e conseqüentemente aumentando as eficiências de atendimento e de fornecimento.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores dos potenciais de atendimentos tabelados para o valor de demanda de projeto de 250 L/dia.hab, área específica de cobertura de 20, 40 e 60 m²/hab e volumes específicos de reservatório de 0,5, 1,2 e 3 m³/hab.

Tabela 1: Potenciais de atendimentos para uma demanda fixa de 250 L/dia.hab.

Município	Área de cobertura (m ² /hab)											
	0,5 m ³ /hab			1 m ³ /hab			2 m ³ /hab			3 m ³ /hab		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60
Belo Horizonte	19%	37%	55%	20%	38%	57%	21%	39%	58%	22%	40%	58%
Florianópolis	28%	53%	77%	28%	55%	83%	30%	57%	84%	31%	58%	86%
Presidente Prudente	17%	33%	49%	17%	34%	50%	19%	35%	52%	20%	36%	53%
Recife	28%	55%	81%	29%	56%	82%	30%	57%	85%	31%	59%	85%
São Paulo	26%	51%	74%	26%	51%	76%	28%	53%	78%	28%	54%	79%
Salvador	26%	51%	76%	26%	52%	77%	28%	53%	78%	29%	54%	79%
Teresina	14%	27%	40%	17%	27%	41%	15%	29%	42%	16%	30%	43%
Teresina (Seco)	8%	13%	16%	8%	15%	19%	9%	17%	21%	10%	18%	26%
Florianópolis (Seco)	13%	22%	29%	15%	27%	37%	16%	29%	43%	17%	30%	44%
Teresina (Úmido)	16%	28%	37%	17%	33%	46%	18%	34%	50%	19%	36%	51%
Florianópolis (Úmido)	27%	44%	55%	31%	54%	71%	34%	63%	86%	33%	67%	94%

Com os dados representativos da tabela cima é possível visualizar uma grande distinção entre os dados. Retratando apenas as médias, tem-se que o potencial mínimo de atendimento é de 14%, correspondente a cidade de Teresina com 20 m²/hab de área de cobertura e 0,5 m³/hab de volume de reservatório; já a cidade de Florianópolis apresenta o dobro de aproveitamento nas mesmas condições, e nas condições mais favoráveis, com 60 m²/hab de área de cobertura e 3 m³/hab de volume específico de reservatório o município possui o maior aproveitamento,

correspondente a 86%. Com valores similares aos de Florianópolis destaca-se o município de Recife. Em todos os casos é possível notar que a área de cobertura exerce grande influência no fornecimento de água: em Presidente Prudente, por exemplo, para um volume de reservatório de 0,5 m³/hab, ao se dobrar a área de cobertura (de 20 m²/hab para 40 m²/hab) nota-se praticamente o dobro do potencial de fornecimento (de 17% para 33%); enquanto que, mantendo a mesma área de cobertura e dobrando o volume de reservatório de 0,5 m³/hab para 1 m³/hab temos que as eficiências sofrem nenhuma ou pouca alteração, sendo o incremento máximo de apenas 1%.

Com relação aos dados de chuvas extremas nas cidades de Florianópolis e Teresina a diferença entre o máximo aproveitamento e o mínimo é ainda mais acentuada: o máximo obtido é de 94% para Florianópolis na situação mais úmida, com 60 m²/hab de cobertura e 3 m³/hab de volume específico de reservatório; enquanto que o mínimo é de 8% em Teresina na sua situação mais seca, com 20 m²/hab de cobertura e 0,5 m³/hab de volume de reservatório. O ano mais seco de Teresina e o ano mais úmido de Florianópolis mostram maiores diferenças nos potenciais de fornecimento do que as médias entre as duas cidades; enquanto que no caso das médias a relação entre os potenciais de fornecimento de Florianópolis e Teresina permanecia próximo de 2 para 1. Na situação extrema de chuva em Florianópolis e de seca em Teresina tem-se que essa proporção se mantém acima de 3 para 1.

Recife, apesar de ser classificada pelo IBGE como clima úmido (1 a 3 meses de seca) possui mais alta precipitação nos meses de picos de chuva do que Florianópolis, que é classificada como super úmido (sem seca). Apesar Florianópolis manter constância na distribuição de chuvas ao longo do ano, possui índices de precipitações menores do que Recife. Dessa forma, é possível inferir que um projeto de captação de água de chuva é mais rentável em regiões com altos índices de precipitações, porém sem grandes períodos de estiagem, pois em Belo Horizonte, onde há picos de precipitações com valores semelhantes aos valores de Recife, há também longos períodos de estiagem (de 4 a 6 meses de seca). A cidade de

Salvador, considerada como super úmida, também apresentou baixos índices de potencial de aproveitamento; quando comparada à outras cidades com mais alto índices, é possível verificar que apesar da boa distribuição anual de chuvas, a quantidade mensal é baixa quando comparada aos picos de Recife, por exemplo.

Com base nos dados da Tabela 1, foram elaborados dois *boxplots* (Figura 39) com os potenciais atendimentos advindos das médias diárias e outro com os potenciais de atendimento obtidos com base nos dados dos anos extremos.

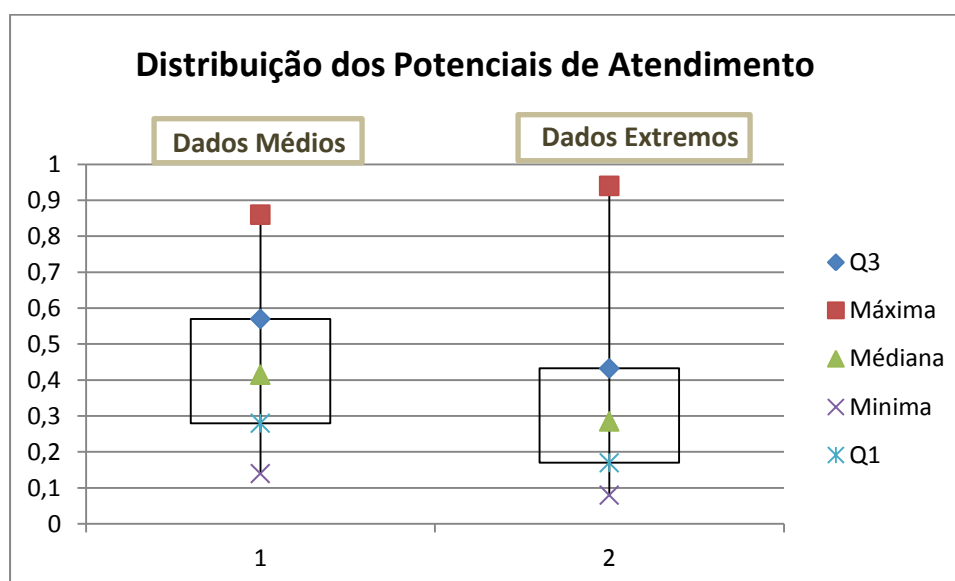


Figura 36: *Boxplot* dos potenciais de atendimento para os dados médios e para os dados extremos, com base na Tabela 1.

Os dados do *boxplot* mostram que as distribuições dos potenciais de atendimento nos casos extremos possuem maior variabilidade do que as distribuições nos casos médios.

4. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O método aplicado é um método para ser aplicado em residências onde o abastecimento de água já seja suficiente para suprir a demanda existente. Os diferentes regimes pluviométricos brasileiros apresentaram diferentes resultados para as simulações propostas, no entanto, todas as regiões mostraram elevados potenciais de economia de água de uso não nobre. Os cenários simulados foram todos baseados em um cenário real de uma residência brasileira, e a parametrização dos dados permite com que seja possível consultar, antes que seja realizado um projeto, dados relativos a esse caso o dimensionamento do reservatório de água seja realizado pelo método aqui simulado.

Cidades com períodos mais longos de seca podem estar mais sujeitas a terem menor eficiência no atendimento da demanda e menor volume de água que pode ser ofertada, enquanto que cidades com chuvas constantes e abundantes são mais favoráveis a um projeto de coleta de água pluvial. De forma geral, a área disponível para a captação de chuva mostrou ser um parâmetro de fundamental importância com relação ao grau de atendimento que o sistema pode prover. As residências brasileiras com vastas áreas de telhados possuem grande viabilidade de implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva, mesmo com volumes relativamente pequenos de reservatórios. Em vistas de promover maior sustentabilidade ambiental, o investimento em projetos para a economia de água se mostram como uma boa opção.

Como o Brasil apresenta hoje a maior parte de sua população plenamente atendida por um sistema público de abastecimento de água, a recomendação desse trabalho é que sejam utilizados os dados gerados aqui para que a implantação de projetos que promovam fontes alternativas de suprimento de água não potável, que tragam economia a diferentes prazos e de acordo a disponibilidade de chuva em cada região brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Instituto Socioambiental**. Disponível em <<http://www.socioambiental.org/esp/agua/pgn/historicodaobra.html>>. Acesso em 25/09/2012.
- [2] Uso Racional da Água em Edificações. Tecnologias de Segregação e Tratamento de Esgotos Domésticos na Origem Visando a Redução do Consumo de água e da Infra-Estrutura de Coleta, Especialmente nas Periferias Urbanas. **Projeto PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico**. 2006. Vitória,ES. 1ª Edição.
- [3] ABNT. Associação Brasileira de Normas e Técnicas. **NBR 15527: Água de Chuva: Aproveitamento de Cobertura em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis: requisitos**. São Paulo. 2007.
- [4] RUPP, R.F.; MUNARIM,U.; GHISI,E. Comparação de Métodos para Dimensionamento de Reservatórios de Água Pluvial. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 11, n.4, p. 47-64, out./dez. 2011.
- [5] AMORIM, S.V.; PEREIRA, D.J.A. Estudo Comparativo dos Métodos de Dimensionamento para Reservatórios Utilizados em Aproveitamento de água Pluvial. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 8, n.2, p. 53-66, abr./jun. 2008.
- [6] COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. Captação e Aproveitamento de Água de Chuva: Dimensionamento de reservatórios. **IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Salvador. 2008
- [7] SILVA, A.R.V.; TASSI,R. Dimensionamento e Simulação do Comportamento de um Reservatório para Aproveitamento de Água da Chuva: Resultados Preliminares. **RHAMA Consultoria, Pesquisa e Treinamento Ambiental**. Disponível em <<http://rhama.net/download/artigos/artigo35.pdf>> Acesso em 25/04/2013.

- [8] MORUZZI, R.B.; MURAKAMI, M.F. Variação Temporal da Qualidade de Água Armazenada para Fins de Aproveitamento. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**. V.6, n. 3, p. 243-254, set./dez. 2009.
- [9] [DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENDUM, J.A. Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 15, n. 12, p. 59-68, abr./jun. 2010.
- [10] MORUZZI, R.B.; GARCIA, M.L; OLIVEIRA,S.C. A Proposal for Reservoir Volume Calculation in Rainwater Harvesting Systems. **Journal of Civil Engineering and Architecture**.v.6, 2012.
- [11] CÉSAR,R. Administração Financeira: Payback Dscontado. 10 slides. Disponível em <<http://professorrobertocesar.files.wordpress.com/2010/08/3-payback-descontado.pdf>> Acesso em 05/11/2013.
- [12] Mapa de Clima do Brasil. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/clima.pdf>. Acesso em 15/04/2013.
- [13] HidroWeb – Sistemas de Informações Hidrológicas: Séries Históricas. **Agência Nacional de Águas**. Disponível em < <http://hidroweb.ana.gov.br>> Acesso em 13/02/2013.