

## O VOLUME ÚNICO DAS CISTERNAS RURAIS É ADEQUADO?

*Eduardo Cohim<sup>1</sup>*

**Resumo** – O Programa 1 Milhão de cisternas – P1MC, já construiu mais de 300 mil unidades no semiárido, beneficiando mais de 1,5 milhões de pessoas. Entretanto, adota um padrão de cisternas com volume de 16 mil litros, o que pode não ser adequado à diversidade de situações representadas por número de moradores, área de telhado e precipitação anual. Para verificar essa adequabilidade, simulou-se o comportamento de 947 cisternas localizadas no município de Araci-BA com um balanço diário para um período de 10 anos. Conclui-se que o volume único de cisterna para aproveitamento de água de chuva no semiárido leva a dois tipos de inadequação. No primeiro, o volume é maior que o necessário para atendimento das demandas com uma confiabilidade de 90%, representado por 30% dos casos. No segundo, o volume não chega a ser utilizado quando a fração da demanda excede o potencial máximo de captação e representa 70% dos casos. Recomenda-se que o programa poderia reestudar o dimensionamento das cisternas, definindo uma padronização de volumes por faixas de demanda, o que resultaria na melhor utilização dos recursos disponibilizados e que, como parte das ações fosse incluído o aumento da área de captação.

**Palavras-Chave** – Cisterna rural; volume de cisterna; análise de confiabilidade.

### IS THE SINGLE SIZE OF RURAL CISTERNS SUITABLE?

**Abstract** – Program 1 Million Tanks - P1MC, has built more than 300,000 units in the semiarid region, benefiting more than 1.5 million people. However, adopts a standard tank with a volume of 16,000 liters, which may not be suitable for different situations represented by the number of residents, roof area and annual rainfall. To verify this suitability, simulated the behavior of 947 tankers located in the municipality of Araci-BA with a daily balance for a period of 10 years. We conclude that the single volume cistern for rainwater use in semiarid leads to two types of inadequacy. In the first volume is greater than necessary to meet the demands with a 90% reliability, represented by 30% of cases. In the second, the volume fails to be used when the fraction of the demand exceeds the maximum potential uptake and represents 70% of cases. It is recommended that the program could restudy the design of tanks, setting a standard volume by ranges of demand, resulting in better utilization of available resources and that as part of the actions be included the increase of the catchment area.

**Keywords** – Cistern rural; volume cistern; reliability analysis.

### INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro conta com uma produção específica média de água de 0,3 L/s.km<sup>2</sup>, suficiente para manutenção de uma atividade econômica regular, não fosse a má distribuição das chuvas.

<sup>1</sup> UEFS: Professor Adjunto do Curso de Engenharia Civil e do Programa de PósGraduação em Engenharia Civil e Engenharia Ambiental. Av Transnordestina s/n – Novo Horizonte – Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161 8310 - Fax: +55 (75) 31618056 - e-mail: [edcohim@gmail.com](mailto:edcohim@gmail.com)

Segundo Malvezzi (2007), citado por Neves et al. (2010), o conceito de convivência com o semiárido pressupõe a possibilidade de desenvolver culturas adequadas ao meio ambiente e uma vida produtiva do ponto de vista econômico, cuja chave passa pela produção e estocagem dos bens em tempos chuvosos para se viver adequadamente em tempos sem chuva, sendo a água o principal bem a ser estocado.

Com esse objetivo e visando garantir o abastecimento regular de água de qualidade para cinco milhões de pessoas em áreas rurais do semiárido brasileiro, foi criado o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido – P1MC, com início em 2001 (Neves et al, 2010). Desde então, o P1MC construiu mais de 300 mil cisternas, beneficiando mais de 1,5 milhões de pessoas (ASA, 2012).

É de se destacar que a água de chuva coletada dos telhados é considerada, juntamente com água de sistemas públicos de abastecimento e de poços e nascentes protegidos, fonte melhorada de água (WWAP, 2009). O Plano Nacional de Recursos Hídricos aponta a água de chuva como um recurso a ser usado de forma plena em substituição ou suplementação de fontes tradicionais (Gnadlinger, 2007).

A adequabilidade dessa fonte para abastecimento humano pode ser comprovada através de estudos epidemiológicos como o que foi realizado por Heyworth et al. (2006), em que se conclui que o consumo exclusivo de água de chuva armazenada em cisternas não aumenta o risco de gastroenterite com relação ao consumo exclusivo de água do sistema público em crianças de 4 a 6 anos, numa evidencia do baixo risco representado pelo uso dessa fonte de água

Luna (2011) afirma que a cisterna é um fator de proteção na ocorrência de episódios diarreicos, uma vez que ter cisterna diminui o risco de ocorrência em 73% em relação a não ter, comprovando, dessa forma o imenso benefício resultante do P1MC.

Entretanto, volumes insuficientes, ensejam a utilização de outras fontes para abastecimento da cisterna, com alto risco de deterioração da qualidade, conforme relatado por pesquisadores, por exemplo (Luna, 2011 e Gnadlinger, 2006).

No âmbito do P1MC, o volume das cisternas foi definido em 16 mil litros com base na demanda de uma família média de cinco pessoas em um período de 280 dias. Esse tamanho único não é compatível com a isonomia no atendimento vez que, na região semiárida, onde são implantadas as cisternas, existe uma diversidade grande nos fatores que condicionam a confiabilidade no atendimento às demandas de água.

A confiabilidade, entendida como o percentual de dias em que a demanda é plenamente atendida em um dado período de análise, depende dos seguintes fatores: pluviosidade, área de captação, demanda (número de moradores) e volume da cisterna.

Assim, é oportuno o estudo da confiabilidade das cisternas rurais no semiárido com vistas ao dimensionamento otimizado do volume das cisternas, maximizando os benefícios, ampliando a isonomia do atendimento e melhorando o resultado econômico do programa.

Assim, é objetivo deste trabalho contribuir para a melhoria dos métodos de dimensionamento dos reservatórios de armazenamento de água de chuva no semiárido baiano, avaliando a confiabilidade do abastecimento de água através de sistemas de captação de água de chuva, usando cisternas de 16 mil litros e estimar faixas de volumes mais adequados para as diversas combinações de área de captação e demanda (número de moradores), tomando como caso de estudo as cisternas do município de Araci-BA.

## METODOLOGIA

O volume do reservatório analisado foi de 16.000 litros, que corresponde ao volume padrão das cisternas implantadas no Programa 1 Milhão de Cisternas – P1MC.

Para a simulação foi utilizado o modelo comportamental que simula a operação do reservatório num período de tempo, simulando fluxos de massas com algoritmos que descrevem a operação de um reservatório, adotando-se um intervalo de um dia para o balanço.

Neste modelo um algoritmo genérico descreve a regra de produção antes do enchimento do reservatório para  $\theta=1$  enquanto a regra de produção depois do enchimento do reservatório é descrita para  $\theta=0$ , conforme a Equação 1 e a Equação 2 (JENKISN, 1978 *apud* FEWKES, 1999):

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + \theta Q_t \end{array} \right. \quad (1)$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} (V_{t-1} + Q_t - \theta Y_t) - (1 - \theta) Y_t \\ S - (1 - \theta) Y_t \end{array} \right. \quad (2)$$

Onde:

Y: Produção de chuva no sistema, responsável por suprir a demanda ( $m^3$ )

D: Demanda ( $m^3$ )

V: Volume de chuva no reservatório de armazenamento ( $m^3$ )

Q: Volume total de chuva coletado pelo sistema ( $m^3$ )

S: Volume do reservatório de armazenamento ( $m^3$ )

Nesse modelo, aqui chamado de comportamental genérico (CG), foi utilizado o método de Monte Carlo para gerar o valor de  $\theta$  entre 0 e 1 para cada intervalo de balanço (Cohim e Oliveira, 2009), reproduzindo assim a natureza aleatória do fenômeno.

Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos no banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas – ANA (2012), obtendo-se uma série de 10 anos de chuvas diárias para o município de Araci-BA.

Para a demanda, será considerado o valor a 20 L/pessoa.dia, recomendado como mínimo por Gleick (1996) para o atendimento às necessidades básicas, excluídas as demandas para veiculação de excretas. Esse valor foi mantido constante nas simulações.

A ASA – Articulação para o Semiárido forneceu os dados de 947 cisternas implantadas com as respectivas áreas de captação e número de moradores.

Para cada cenário analisado, definido pela precipitação, área de captação e demanda (número de moradores e demanda per capita) foi calculada a confiabilidade conforme a Equação 3.

$$C = \frac{N-U}{N} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde N é o número de dias da série e U o número de dias em que a demanda não pode ser atendida plenamente.

Foi analisado, também, para cada situação, o volume da cisterna necessário para o atendimento das demandas com confiabilidade de 90%. Nos casos em que a área de captação for o

fator limitante, será calculado o valor da superfície para que se pudesse atingir a confiabilidade almejada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município está inserido no “Polígono das Secas”, apresentando um clima do tipo megatérmico semi-árido, com temperatura média anual de 24.4°C, precipitação pluviométrica média anual de 657 mm e período chuvoso de março a maio. Apresentando regime fluvial perene, ocorre ao norte o rio Itapicuru, em cuja bacia hidrográfica está inserido o município. Entretanto, o balanço hídrico para o posto de Araci (Latitude: 10° 54'. Longitude: 41° 35'), evidencia déficit hídrico ao longo de todo o ano, com índice de aridez anual igual a 63,4 (SEI,1999).

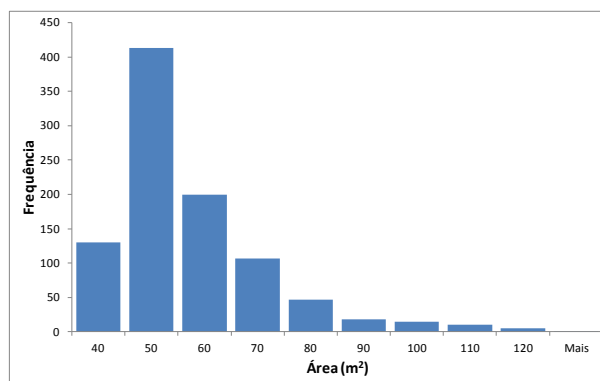
Os dados de precipitação utilizados neste estudo foram as chuvas diárias da estação pluviométrica de Araci, operada pelo DNOCS, Código 01138015, para o período de 01/01/1982 a 31/12/1991, cuja precipitação média anual foi de 600 mm.

Para os 947 sistemas de aproveitamento implantados, o valor médio do número de moradores é 5, com 99% dos casos abaixo de 10, conforme mostrado na Figura 1, definindo assim a faixa de população a ser utilizada para a estimativa das demandas.

A área de telhado tem uma distribuição mostrada no histograma da Figura 2, com média de 51,9 m<sup>2</sup>. Ressalte-se que a ASA adota a diretriz de não instalar cisterna onde a área de captação é inferior a 40 m<sup>2</sup>. No extremo superior, constatou-se que 99,9% das áreas de captação tem superfície inferior a 120 m<sup>2</sup>, sendo esse o limite adotado para as simulações.



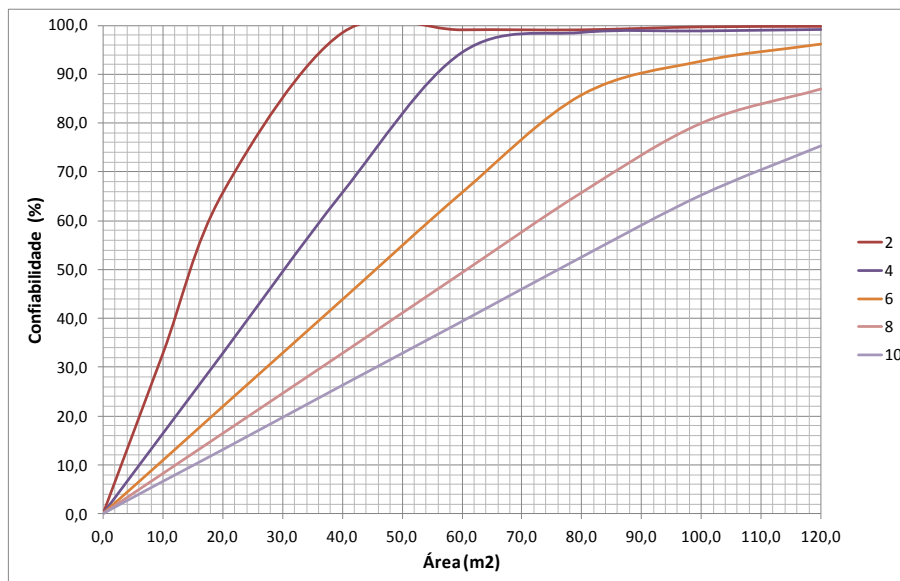
**Figura 1 - Histograma de número de moradores**



**Figura 2 - Histograma de área de captação**

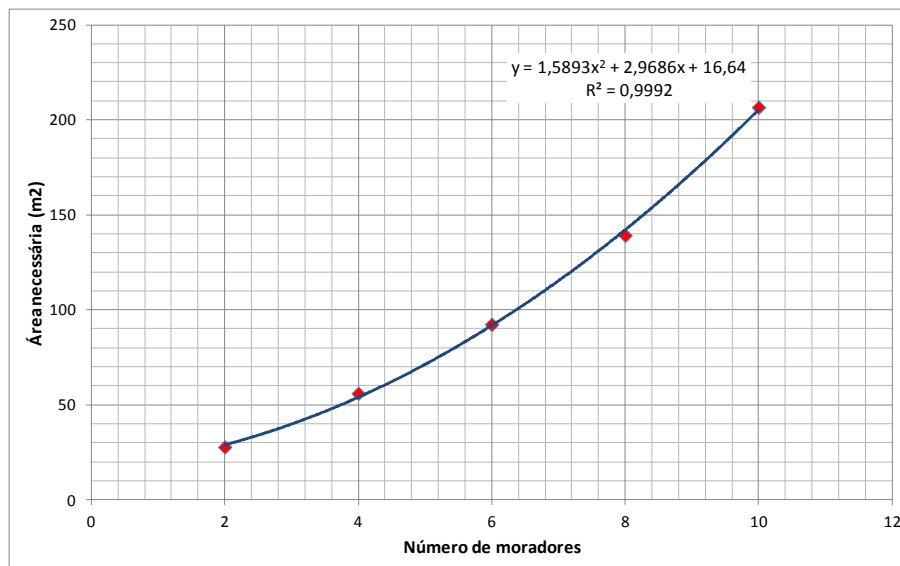
O gráfico da Figura 3 mostra a confiabilidade no atendimento das demandas e foi obtido a partir da simulação das diversas combinações de área de telhado e número de moradores, com volume de reservação igual a 16 mil litros. Pode-se observar que, para as condições de precipitação utilizadas, o atendimento com confiabilidade de 90% depende de áreas maiores na medida em que cresce o número de moradores. Ou, dito de outra forma, para uma mesma área, a confiabilidade cai com o aumento do número de moradores. Constata-se ainda que acima de oito moradores a confiabilidade de 90% é inatingível, mesmo para o limite superior de área de telhado.

Analisando-se a situação caracterizada pela combinação do número médio de moradores (5) e área de telhado média (51,9 m<sup>2</sup>), a confiabilidade ao longo do período analisado seria de 67%. Isto equivale a 1213 dias sem atendimento completo em 3652, dos quais, 1111 dias sem qualquer abastecimento, evidenciando que o critério de dimensionamento adotado pelo programa não consegue atingir o objetivo de atendimento pleno para um período de 280 dias.



**Figura 3 - Confiabilidade para cisternas de 16 mil litros**

Sendo a área de captação fator limitante para o atendimento das demandas com a confiabilidade desejada e utilizando-se cisterna com volume de 16 mil litros, mostra-se na Figura 4 a área mínima necessária em função do número de moradores, a qual varia de 28 m<sup>2</sup> para dois moradores até 207 m<sup>2</sup> para dez.



**Figura 4 - Área necessária para confiabilidade de 90%**

Na análise feita, constata-se que, uma vez que a demanda total anual excede o potencial máximo de aproveitamento traduzido pela Equação 4, o volume máximo armazenado na cisterna decresce devido ao aumento da intensidade diária do uso, evidenciando a inocuidade da capacidade de reservação de 16 mil litros. Em tais situações, o uso de cisternas com essa capacidade representa um desperdício de recursos se for considerado o objetivo de prover água de boa qualidade, embora o equipamento possa ser utilizado para armazenar água de outras fontes.

$$V_{max} = A.P.C \quad (4)$$

Onde,

A= área de telhado, m<sup>2</sup>

P= precipitação anual, m

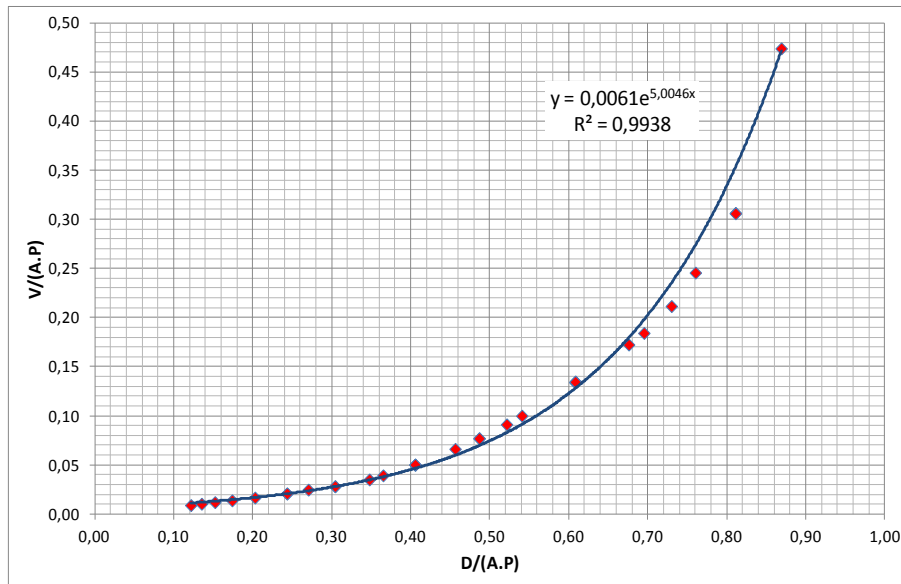
C= parcela da precipitação que escoar, adimensional

Se as diferentes combinações de demanda, área de telhado e volumes de cisternas forem expressas na forma de relações adimensionais, a análise poderia ser feita em função de dois parâmetros. A fração da demanda expressa na Equação 5 e a fração de reservação expressa na Equação 6, ambas em relação ao produto da área de captação e da altura de precipitação.

$$FD = \frac{D}{A.P} \quad (5)$$

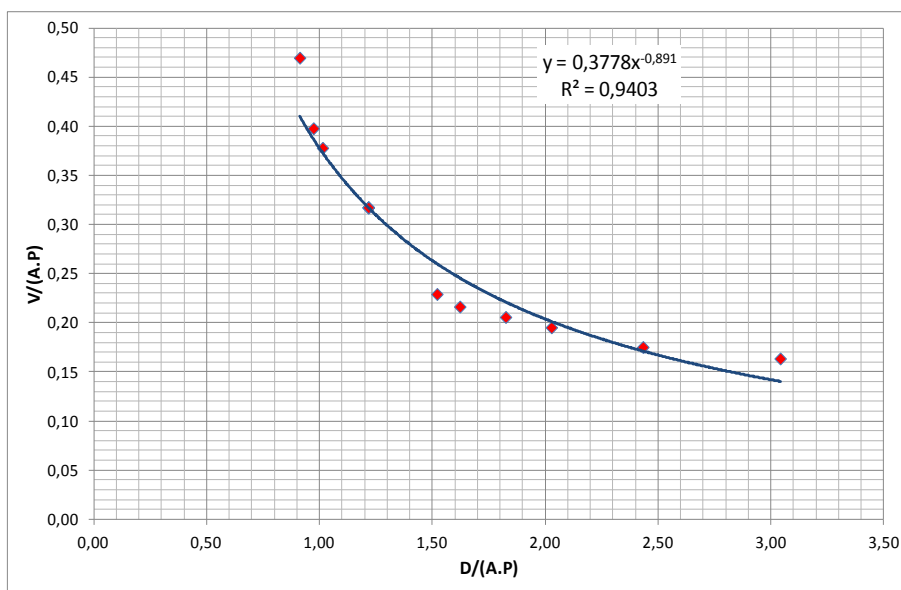
$$FR = \frac{V}{A.P} \quad (6)$$

Para uma dada confiabilidade, o valor de FR crescerá com o aumento de FD até o ponto em que esta se aproxime do valor que representa o potencial máximo, função do coeficiente C e da própria confiabilidade. A partir desse ponto, qualquer aumento de FR representará um investimento sem retorno em volume de reservação. Isto é mostrado na Figura 5 para a confiabilidade de 90%. O ponto máximo, definido pelo par (0,87, 0,474), corresponde a um sistema de aproveitamento com uma área de telhado de 56 m<sup>2</sup> e uma demanda de 4 habitantes, considerando uma cisterna de 16 mil litros e uma precipitação média anual de 600 mm.



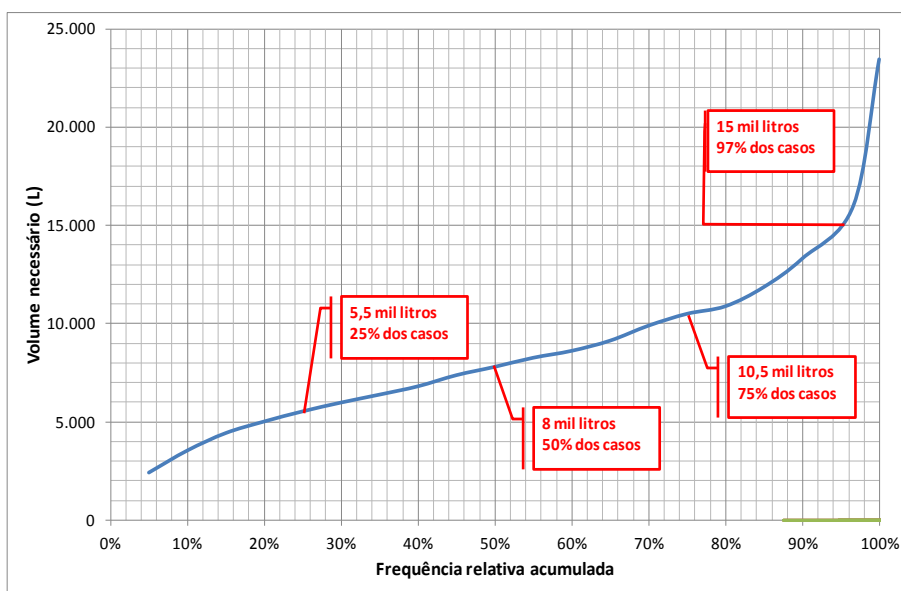
**Figura 5 - Fração da reservação x Fração da demanda (para conf.=90%)**

A partir daí, o valor de FR (volume máximo) armazenado cai em função da maior demanda na medida em que aumenta FD, o que é mostrado na Figura 6.



**Figura 6 - Fração da reservação x Fração da demanda (p/volume máximo)**

Aplicando-se as equações ajustadas aos dados das cisternas do município de Araci, observa-se que em cerca de 25% dos casos o volume adequado da cisterna seria inferior a 6 mil litros. Em outros 40%, esse volume seria inferior a 10 mil litros. E, finalmente, em apenas 3% das situações, o volume necessário seria igual ou superior a 16 mil litros. Isso é mostrado na Figura 7 com o gráfico da distribuição de frequência acumulada para o volume adequado.



**Figura 7 - Frequência acumulada de volumes adequados para cisternas em Araci**

O uso de cisternas com volumes diferentes, mais ajustados às situações, seria certamente mais eficiente, possibilitando um uso melhor dos recursos financeiros disponibilizados para o programa, permitindo a ampliação do número de beneficiários. Como exemplo, para o caso de Araci poderiam ser utilizados quatro volumes diferentes, 5.500, 8.000, 10.500 e 15.000 litros, como mostrado na Figura 7.

Entretanto, é importante destacar que, 70% dos casos em que o volume adequado seria inferior a 16 mil litros decorrem da insuficiência da área de telhado, o que implica em provimento de água em volume inferior ao recomendado. Nesses casos, para alcançar o objetivo desejado de fornecimento de 20 L por pessoa por dia com uma confiabilidade mínima de 90%, seria inevitável a ampliação da área de captação, conforme mostrado na Figura 4.

## CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO

Da análise apresentada, pode-se concluir que o volume único de cisterna para aproveitamento de água de chuva no semiárido leva a dois tipos de inadequação. No primeiro, o volume é maior que o necessário para atendimento das demandas com uma confiabilidade de 90%, representado por 30% dos casos. No segundo, o volume não chega a ser utilizado quando a fração da demanda excede o potencial máximo de captação e representa 70% dos casos.

Recomenda-se que o programa poderia reestudar o dimensionamento das cisternas, definindo uma padronização de volumes por faixas de demanda, o que resultaria na melhor utilização dos recursos disponibilizados e que, como parte das ações fosse incluído o aumento da área de captação

## AGRADECIMENTO

O autor agradece a coordenação da ASA, particularmente a Jean Medeiros, pela gentileza do fornecimento dos dados utilizados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Água. HIDROWEB. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em setembro de 2012.
- ASA Programa 1 milhão de cisternas: Resultados. [http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD\\_MENU=1558&WORDKEY=Resultados](http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=1558&WORDKEY=Resultados). Acesso em 06/06/2012.
- COHIM, E.; OLIVEIRA, C. A Importância Do Intervalo De Tempo Na Simulação Do Funcionamento De Um Reservatório De Água De Telhado 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.
- FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach. *Urban Water* v.1, n. 4, p. 323-333, 1999.
- GLEICK, P. H.. Basic water requirements for human activities: meeting basic needs. *Water International*, 21, 83-92, 1996
- GNADLINGER, J. Rumo a um padrão elevado de qualidade de água de chuva coletada em cisternas no semiárido brasileiro. 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. ABCMAC. Belo Horizonte. 2007
- HEYWORTH, J. S. et al (2006) Consumption of untreated tank rainwater and gastroenteritis among young children in South Australia. *International Journal of Epidemiology*. Vol 35 pp 1052-1058.
- LUNA, C. F. Avaliação do impacto do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) na saúde: ocorrência de diarreia no Agreste Central de Pernambuco. Tese (Doutorado em Saúde Pública): Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, 207 f. 2011.
- NEVES, R. S.; MEDEIROS, J. C. de A.; SILVEIRA, S. M. B. e MORAIS, C. M. M. Programa Um Milhão de Cisternas: guardando água para semear vida e colher cidadania. *Agriculturas* • v. 7 - n. 3. 2010
- SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Balanço hídrico do Estado da Bahia. Salvador: 1999. 250p. SEI. Série Estudos e Pesquisa, 45.
- World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. Paris: UNESCO, and London: Earthscan. 2009.