

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ÁREAS DE CAPTAÇÃO PARA CISTERNAS NO AGreste E SERTÃO SERGIPANOS

Marcus Aurélio Soares Cruz¹

RESUMO --- As regiões do agreste e sertão do Estado de Sergipe sofrem seguidamente problemas de escassez hídrica, resultante das baixas alturas pluviométricas anuais e de sua distribuição temporal irregular. Uma das soluções adotadas nas comunidades rurais destas regiões para o suprimento de água para abastecimento humano é o uso de cisternas para captação da água de chuva. No entanto tem se observado seguidamente que as cisternas não conseguem atender plenamente as demandas das famílias rurais nos períodos de estiagem mais longos. Tal fato pode ser devido à grande variabilidade espacial da chuva nas regiões que muitas vezes não é considerada de forma adequada no dimensionamento das áreas de captação para cisternas. Este estudo visou caracterizar a distribuição das chuvas anuais ao longo da região de ação das cisternas bem como oferecer melhorias ao processo de dimensionamento das áreas de captação por meio de técnicas de análise espacial.

ABSTRACT --- The agreste and semi-arid regions in Sergipe State presents problems related to water scarcity because low annual rainfall and no regular annual distribution of rain. Rain water cisterns have been used by rural population to keep water supply in this region. However, cisterns have failed frequently to attend family water demands mainly in long period of droughts. This fact may be result of high spatial variability of rain in these regions, that isn't considered during procedures of capitation areas design to cisterns. This study aimed to characterize spatial distribution of precipitation in these regions and to improve design methods of capitation areas to cisterns using spatial analyses techniques.

Palavras-chave: escassez hídrica, aproveitamento de água da chuva, análise espacial

¹ Pesquisador Embrapa Tabuleiros Costeiros, Avenida Beira Mar 3250, Jardins, Aracaju-SE. CEP:49025-040. E-mail: mascruz@cpatc.embrapa.br

INTRODUÇÃO

As regiões do agreste e sertão do Estado de Sergipe sofrem seguidamente problemas de escassez hídrica, resultante das baixas alturas pluviométricas anuais e de sua distribuição temporal irregular. Uma das soluções adotadas nas comunidades rurais destas regiões para o suprimento de água para abastecimento humano é o uso de cisternas para captação da água de chuva. Esta solução ganhou força na região a partir do ano de 2004 com a implantação do Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) do Governo Federal, que realizou a instalação de cisternas em muitas residências para coleta das águas escoadas em seus telhados.

A utilização de cisternas de placas como meio de atendimento das demandas da água de famílias nordestinas nos períodos de estiagem é sem dúvida uma iniciativa louvável e que tem sustentabilidade. No entanto o que se observa nesta região é a ocorrência de esgotamento dos volumes de água das cisternas nos períodos críticos de escassez hídrica, levando as famílias a buscarem fontes não-seguras de abastecimento, como açudes de águas turvas e minadouros contaminados. Tal fato pode ser explicado por vários fatores, no entanto parece situar-se principalmente em problemas de dimensionamento das cisternas e na grande variabilidade espacial da precipitação média anual na região.

As cisternas implantadas no programa do governo federal apresentam volume constante de armazenamento de 16 mil litros e a determinação da área de captação para abastecimento das cisternas com águas pluviais é realizado segundo uma precipitação média disponível para os municípios que dispõem de séries históricas anuais. Ocorre que muitas vezes são utilizados valores não representativos da região onde se está implantando o dispositivo, pela própria inexistência de informação mais precisa. Assim, pode ocorrer o sub-dimensionamento das áreas de captação, produzindo volumes insuficientes para encher de forma plena a cisterna, ou ainda, pode-se estar superdimensionando a área necessária, resultando em grandes perdas de água devido ao volume da cisterna ser fixo.

Dentro deste cenário, este trabalho buscou através do uso de ferramentas de análise espacial, desenvolver um mapeamento das áreas de captação para diferentes cenários de risco de ocorrência de precipitações nas regiões do agreste e sertão sergipanos, buscando contribuir para melhorias no dimensionamento destes dispositivos.

AS CISTERNAS E A ESCASSEZ HÍDRICA

O Estado de Sergipe apresenta cerca de 50% de sua superfície compreendida no conhecido Polígono das Secas nordestino, que se caracteriza pela irregularidade das chuvas e por baixas

alturas precipitadas durante o ano, com elevada concentração em poucos meses. Desta forma predomina o balanço hídrico negativo, com precipitações médias anuais da ordem de 500 a 800 mm e taxas de evaporação muitas vezes superiores a 2000 mm, resultado de temperaturas médias anuais de 25°C e umidade relativa do ar de 50% (Brito et. al, 2007).

O comportamento das chuvas na região e a reduzida capacidade da maioria dos solos locais de armazenar água, aumentam a dependência humana com relação à ocorrência de chuvas, exigindo a adoção de medidas de armazenamento das águas para consumo, pois estes fatores não permitem a presença de rios de caráter perene, excetuando-se o rio São Francisco. Assim, a vulnerabilidade das populações que habitam estas regiões decorre da instabilidade climática, que atinge patamares de terror nos períodos de seca que ocorrem, em média, a cada cinco anos (Cruz et. al., 1999).

O Governo Federal tem promovido a implantação de cisternas para a captação de água de chuva nas áreas rurais de muitos municípios da região semi-árida através do Programa de Mobilização Social para Construção de Um Milhão de Cisternas (P1MC) criado para buscar soluções alternativas para a falta de água nestas regiões (Cáritas, 2001). Este programa tem contribuído de forma substancial para o melhor aproveitamento da água da chuva, no entanto a água armazenada nas cisternas não tem sido suficiente para o consumo das famílias rurais nos períodos de seca (Cavalcanti, 2005).

Estudos desenvolvidos pela Embrapa (EMBRAPA (1984); Silva et al. (1988); Brito et al. (2007)), têm demonstrado as técnicas para o dimensionamento de cisternas rurais, bem como avaliado os problemas que vêm ocorrendo com o funcionamento destas, tais como a contaminação de suas águas e o não atendimento das famílias nos períodos de estiagem.

A ineficiência dos sistemas parece estar associada à distribuição espacial da precipitação nas regiões semi-áridas, que muitas vezes não é considerada da forma correta, no dimensionamento das áreas de captação, restritas aos telhados das residências, já existentes na maioria dos casos. Assim, como a cisterna implantada pelo P1MC possui volume padrão de 16 mil litros, a variável determinante do funcionamento da cisterna é a área de captação.

O uso de ferramentas de geoprocessamento para a avaliação da influência da localização geográfica de um elemento no comportamento de um fenômeno tem ganhado proporções cada vez maiores nos últimos anos. A associação de técnicas de análise espacial, geoestatística e sistemas de informações geográficas permite a produção de mapas que por sua vez possibilitam ao interessado, visualizar e entender problemas que muitas vezes não podem ser claramente explicados pela estatística clássica (Reichardt, 1995). A precipitação pluviométrica média apresenta dependência espacial, uma vez que postos de medição de chuva, localizados mais próximos tendem a ter comportamentos anuais mais semelhantes entre si que postos com maiores distâncias, assim as geotecnologias podem contribuir de forma substancial na caracterização espacial da precipitação.

MATERIAIS E MÉTODO

As regiões do agreste e sertão sergipanos compreendem uma área correspondente a aproximadamente 60% de toda a superfície do Estado de Sergipe, abrangendo a sua porção oeste e estende-se ao longo de toda a sua extensão nordeste-sudoeste. Segundo a classificação climática de Köppen, no Estado predomina o clima tropical com estação seca de verão (As). O período chuvoso é compreendido entre abril e agosto com concentração nos meses de maio, junho e julho.

A região Agreste caracteriza-se como área de transição climática entre a porção litorânea do Estado e o sertão, predominando o clima tropical sub-úmido com precipitações atmosféricas anuais entre 800 e 1.200 mm e temperaturas médias anuais da ordem de 24°C. Abrange 18 municípios da região central do Estado, tais como Itabaiana, Lagarto e Tobias Barreto. Na área sertaneja do Estado o clima é o semi-árido, onde as temperaturas são elevadas e as taxas pluviométricas mais reduzidas, variando em torno de 500 a 800 mm. Apresenta baixa umidade do ar e grande variação térmica entre o dia e a noite. Compreende a porção noroeste do Estado abrangendo 15 municípios, dentre eles destacam-se Poço Redondo e Canindé do São Francisco.

A avaliação da distribuição espacial das áreas de captação para cisternas considerou inicialmente o comportamento espacial da precipitação nas regiões. Para tanto foram selecionados postos pluviométricos/pluviográficos situados no Estado que tivessem séries históricas de dados diários superiores a 15 anos, por meio de consulta à base de dados Hidroweb (ANA, 2009).

Uma vez selecionados os postos de chuva, procedeu-se a realização de uma análise exploratória em cada posto de forma a determinar a precipitação média anual e a mediana, ou seja, a precipitação com 50% de frequência segundo a série histórica disponível, uma vez que estes são os critérios adotados atualmente para o dimensionamento das áreas de captação.

De posse dos valores das duas precipitações para cada posto, realizou-se a análise espacial através do uso de ferramentas geoestatísticas para avaliar a dependência espacial das variáveis. Foram produzidos os semivariogramas e ajustados os modelos que melhor definissem o patamar e alcance da dependência espacial. Após estes procedimentos foi realizada a krigeagem ordinária como meio de produção de mapas da distribuição espacial das precipitações avaliadas na região de estudo em formato raster. Para tanto foi utilizado o módulo *GeoStatistical Analyst* do software ArcView (ESRI, 2009).

A determinação das respectivas áreas de captação considerou a necessidade de atendimento de uma cisterna de 16 mil litros, que é o volume padrão construído na região. Assim fez-se uso da seguinte equação (Brito et al., 2007):

$$AC = \frac{V}{c \cdot P} \quad (1)$$

onde: AC – área de captação para cisterna (m^2); V – volume útil da cisterna (m^3); c – coeficiente de perdas da área de captação, neste caso considerado 0,70 e P – precipitação de dimensionamento (mm/ano).

Esta equação foi aplicada aos mapas em formato raster através da realização de operação matemática utilizando o módulo *Spatial Analyst* do software ArcView, produzindo os mapas de distribuição espacial das áreas de captação para cisternas. A partir destes mapas foram realizadas análises sobre o atendimento do volume necessário dentro das regiões selecionadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a avaliação da qualidade das informações dos postos disponíveis foram utilizados 34 postos de chuva com dados diários e séries superiores a 10 anos. Alguns anos de informação duvidosa e com falhas foram excluídos das análises e mantiveram-se apenas os postos que atendiam ao requisito de tamanho mínimo da série histórica. A Figura 1 apresenta os postos selecionados no Estado e aqueles situados na região do Agreste-sertão sergipanos. A tabela 1 resume as informações sobre os postos considerados bem como os valores médios e de 50% de freqüência das precipitações anuais para cada posto.

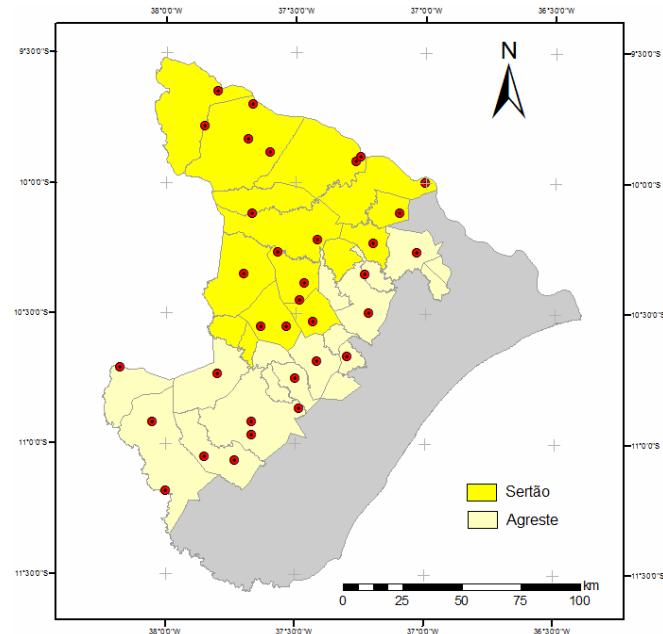


Figura 1 – Postos de precipitação pluviométrica no Estado de Sergipe, destacando a região Agreste-Sertão.

Tabela 1 – Informações sobre os postos de chuva na região Agreste-Sertão sergipano.

| Região | Posto | Coord. Geográficas | | Precipitação anual (mm) | | Série (anos) |
|---------------|-----------|--------------------|---------------|-------------------------|---------|-----------------|
| | | Latitude (S) | Longitude (W) | Média | Mediana | |
| SERTÃO | CH0937024 | -9,88333 | -37,60000 | 517,5 | 473,8 | 18 |
| | CH0937025 | -9,83333 | -37,68333 | 497,8 | 434,5 | 14 |
| | CH0937026 | -9,91667 | -37,26667 | 552,7 | 528,5 | 61 |
| | CH0937027 | -9,78333 | -37,85000 | 531,2 | 501,4 | 15 |
| | CH0937028 | -9,65000 | -37,80000 | 479,3 | 476,3 | 67 |
| | CH0937029 | -9,70000 | -37,66667 | 813,0 | 658,6 | 38 |
| | CH0937030 | -9,90000 | -37,25000 | 378,1 | 296,2 | 35 |
| | CH1037000 | -10,00000 | -37,00000 | 923,9 | 807,6 | 13 |
| | CH1037010 | -10,35000 | -37,70000 | 795,6 | 756,0 | 20 |
| | CH1037012 | -10,45000 | -37,48333 | 573,4 | 553,4 | 23 |
| | CH1037014 | -10,55000 | -37,53333 | 825,1 | 781,4 | 62 |
| | CH1037016 | -10,23333 | -37,20000 | 790,5 | 771,4 | 23 |
| | CH1037021 | -10,11667 | -37,10000 | 926,0 | 852,1 | 22 |
| | CH1037027 | -10,11667 | -37,66667 | 632,1 | 606,1 | 17 |
| | CH1037031 | -10,38333 | -37,46667 | 714,6 | 728,0 | 21 |
| | CH1037032 | -10,55000 | -37,63333 | 678,1 | 643,3 | 60 |
| | CH1037034 | -10,21667 | -37,41667 | 698,0 | 664,6 | 71 |
| | CH1037038 | -10,26667 | -37,56667 | 736,5 | 618,4 | 15 |
| | CH1037044 | -10,53333 | -37,43333 | 950,1 | 845,3 | 23 |
| Médias Totais | | | | 684,9 | 631,4 | 32,5 |
| AGRESTE | CH1037003 | -10,26667 | -37,03333 | 919,8 | 885,7 | 58 |
| | CH1037008 | -10,75000 | -37,50000 | 1106,7 | 1036,4 | 29 |
| | CH1037013 | -10,35000 | -37,23333 | 797,8 | 753,6 | 23 |
| | CH1037019 | -10,68333 | -37,41667 | 876,7 | 846,8 | 63 |
| | CH1037024 | -10,86667 | -37,48333 | 1206,7 | 1183,1 | 16 |
| | CH1037025 | -10,91667 | -37,66667 | 1043,3 | 901,0 | 58 |
| | CH1037030 | -10,66667 | -37,30000 | 1394,4 | 1314,2 | 15 |
| | CH1037036 | -10,50000 | -37,21667 | 1050,5 | 1000,9 | 74 |
| | CH1037045 | -10,73333 | -37,80000 | 887,4 | 870,1 | 68 |
| | CH1037051 | -10,96667 | -37,66667 | 1093,0 | 1014,6 | 22 |
| | CH1038000 | -10,70861 | -38,17750 | 808,8 | 679,4 | 35 |
| | CH1038001 | -10,91667 | -38,05000 | 680,9 | 623,3 | 20 |
| | CH1137011 | -11,05000 | -37,85000 | 959,1 | 923,6 | 70 |
| | CH1137025 | -11,06667 | -37,73333 | 1080,9 | 988,6 | 23 |
| | CH1138000 | -11,18333 | -38,00000 | 759,0 | 756,6 | 62 |
| Médias Totais | | | | 977,7 | 918,5 | 42,4 |

Como pode ser observado, para a região do Sertão sergipano, a variação média entre a precipitação média e a mediana foi da ordem de 8,5%, enquanto que para a região Agreste este valor situou-se por volta de 6,4%, o que pode sinalizar para uma menor variabilidade nesta última região. Observa-se ainda pela Tabela 1, que os postos localizados na região do Agreste acusam em média, lâminas anuais de precipitação pluviométrica cerca de 43% superiores às dos postos da porção sertaneja, além de apresentarem em média, séries históricas com 10 anos a mais que os postos localizados no Sertão.

A partir da determinação dos valores de lâminas médias e medianas para cada posto, partiu-se para a análise espacial da precipitação. Para tanto foram gerados mapas de superfície interpolada utilizando krigagem ordinária. A Figura 2 apresenta os mapas obtidos para as chuvas médias (A) e medianas (B) para as regiões em estudo.

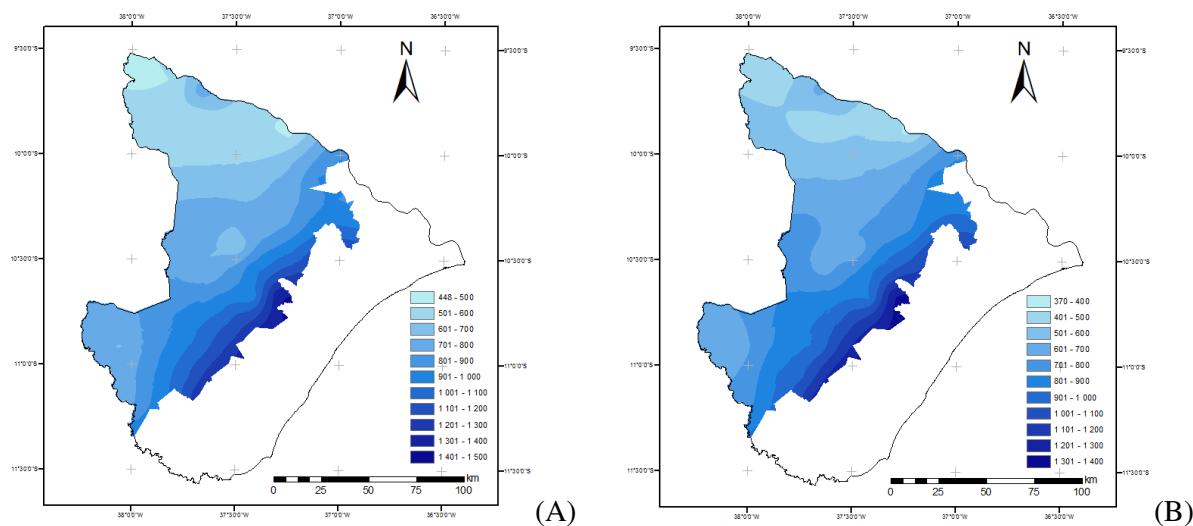


Figura 2 – Distribuição espacial da precipitação anual média (A) e mediana (B) na região do Agreste-Sertão em Sergipe

Observa-se pela Figura 2, que ocorre claramente uma transição de áreas com maiores lâminas precipitadas, da ordem de 1400 mm/ano, localizadas na região do Agreste sergipano próximo aos seus limites com a região litorânea, para áreas de baixa pluviosidade, atingindo valores mínimos no Sertão em sua porção noroeste, com lâminas da ordem de 400 mm/ano. Pode-se observar- também bastante similaridade entre os comportamentos das chuvas médias e medianas, com diferenças mais significativas no extremo noroeste do Sertão, onde as alturas precipitadas com 50% de frequência ocorrem em valores inferiores a 400 mm.

A partir das imagens raster apresentadas da Figura 2, foram realizadas operações algébricas, segundo a equação (1) e produzidas novas imagens que refletem a distribuição espacial das áreas de

captação necessárias para cisternas de volume fixo igual a 16 mil litros. A Figura 3 apresenta os resultados.

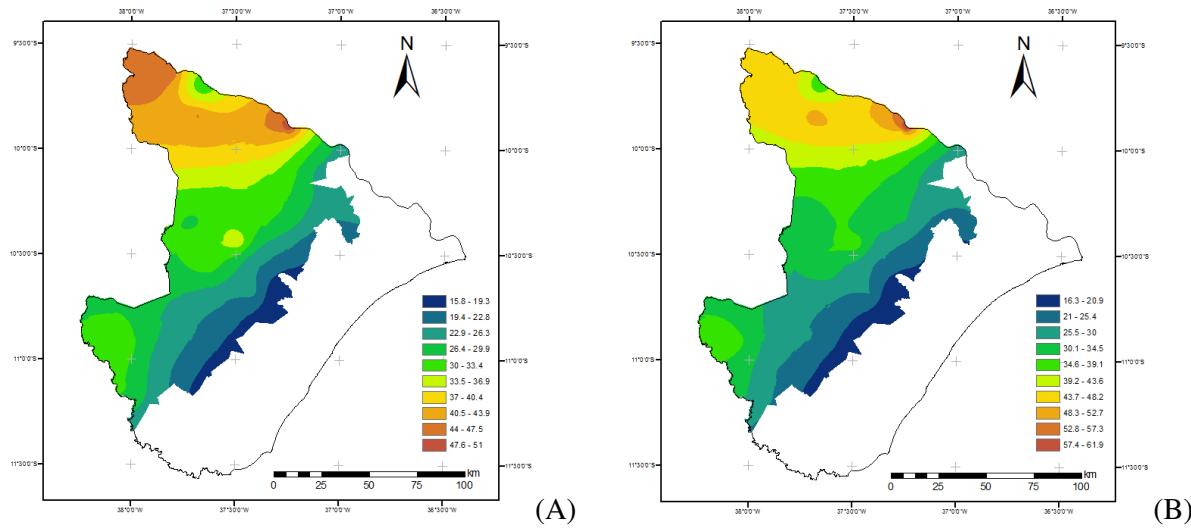


Figura 3 – Distribuição espacial das áreas de captação (m^2) necessárias para cisternas de 16.000 litros considerando a precipitação anual média (A) e mediana (B) na região do Agreste-Sertão em Sergipe

As áreas de captação variaram de 15,8 a 51,0 m^2 , considerando a precipitação média e entre 16,3 e 61,9 considerando a precipitação mediana. Esta variação representa alterações da ordem de 223% no primeiro caso e 280% no segundo, o que permite avaliar a importância da consideração da localização espacial da área de captação no seu dimensionamento. Comparando os resultados para os dois métodos de consideração da chuva, observa-se que utilizar a mediana possibilita um aumento de área de captação média e, portanto maior segurança de dimensionamento, de aproximadamente 3% para as regiões com maior pluviosidade e de 21% para as regiões de maior escassez hídrica, o que aponta para a escolha da utilização da altura precipitada com 50% de freqüência de ocorrência nas séries históricas. Segundo Cavalcanti (2005) as áreas de captação na forma de telhados na região semi-árida de Pernambuco situam-se em torno de 40 m^2 em média. Acredita-se que este valor também seja representativo de populações com condições sócio-econômicas semelhantes, como ocorre em Sergipe. Assim considerando este valor, observa-se pelas Figuras 3 (A) e 3 (B) que as áreas do sertão sergipano localizadas no seu extremo noroeste não teriam condições de encher as cisternas de 16 mil litros com as precipitações que ocorrem anualmente.

Visando facilitar a utilização dos mapas, realizou-se nova operação para retratar a quantidade de água de chuva disponível para captação em cisterna de qualquer dimensão por metro quadrado de área de captação de telhado com telha de barro ($C=0,70$) distribuído nas diferentes partes das

regiões de estudo. Para tanto fez-se uso da equação (1) isolando o termo correspondente ao volume e fixando a área de captação em $1,0\text{ m}^2$. A Figura 4 apresenta os mapas em formato raster obtidos.

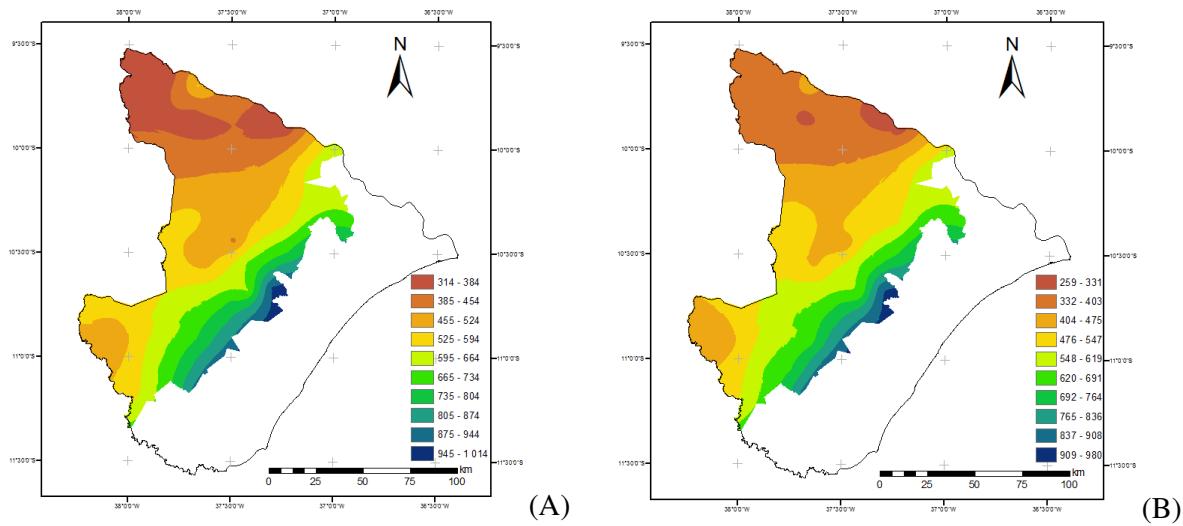


Figura 4 – Distribuição espacial dos volumes unitários (l.ano^{-1}) disponíveis considerando a precipitação anual média (A) e mediana (B) na região do Agreste-Sertão em Sergipe

Conforme se observa nas Figuras 4 (A) e 4 (B), os volumes unitários (gerado por 1 m^2 de telhado com telha de barro) disponíveis variam de 314,0 a 1014,0 l.ano^{-1} considerando as chuvas médias anuais e de 259,0 a 980,0 l.ano^{-1} para as precipitações de 50% de freqüência. Assim se, por exemplo, considerarmos um telhado de $40,0\text{ m}^2$ em telha de barro, pode-se obter cerca de $12,5\text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$ no extremo noroeste do sertão sergipano, considerando a chuva média e, aproximadamente $10,4\text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$ se for utilizada a precipitação mediana, corroborando a informação da não-condição de enchimento da cisterna padrão.

Os mapas obtidos podem ser utilizados como guias para a melhoria das informações de dimensionamento de cisternas de captação de água da chuva no Estado e reduzir os riscos associados à incapacidade de suprimento das demandas das famílias rurais por cisternas abastecidas por áreas de captação inadequadas.

CONCLUSÕES

1. A análise espacial realizada com a aplicação de técnicas de Geoestatística mostrou-se uma ferramenta adequada e com grande potencial no mapeamento e regionalização de informações de precipitações médias;

2. Há grande variabilidade espacial nas lâminas de chuva na região do Agreste-Sertão do Estado de Sergipe o que se reflete nas diferenças significativas de dimensões para áreas de captação para cisternas;
3. Os mapas produzidos podem auxiliar no dimensionamento das áreas de captação para cisternas minimizando a possibilidade de secagem das mesmas durante os períodos de estiagem mais longos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, L. T. L., MOURA, M. S. B., GAMA, G. F. B. *Potencialidades da água de chuva no Semi-árido brasileiro*. Petrolina, PE, EMBRAPA SEMI-ÁRIDO, 2007. 180P.

CRUZ, P. H. COIMBRA, R. M., FREITAS, M. A. V. *Vulnerabilidade climática e recursos hídricos no Nordeste*. In.: O ESTADO DAS ÁGUAS NO BRASIL/ org. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas – Brasília, DF: ANEEL, SIH; MMH, SRH; MME, 1999. 334p.

CÁRITAS BRASILEIRA. *Água de chuva: o segredo da convivência com o Semi-Árido brasileiro*. Cáritas Brasileira, Comissão Pastoral da Terra, Fian/Brasil – São Paulo: Paulinas, 2001. il. 104p.

CAVALCANTI, N. B., BRITO, L. T. L., RESENDE, G. M. Capacidade de captação da água de chuva em cisternas de comunidades da zona rural do município de Petrolina, Pernambuco. In: *Anais. 5º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*. Teresina, 2005.

EMBRAPA. *Cisternas Rurais*. Petrolina, PE, EMBRAPA SEMI-ÁRIDO/SUDENE. 1984. 104p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular técnica, 12).

ESRI. ArcGIS desktop help. V. 9.1. Disponível em:
<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm>. Acesso em: 05 de jun. 2009.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R.; LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.10, n.1, p.1-6, 1986.

SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L.; ROCHA, H. M. *Captação e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro: Cisternas rurais II, água para consumo humano*. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA/MINTER-SUDENE, 1988. 80 p. il. (EMBRAPA-CPATSA. Circular técnica, 16).