

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA

Paulo Frassinete de Araújo Filho¹ & André Marques Cavalcanti²

RESUMO --- A escassez de água para o consumo humano, é um drama social vivido pela população de regiões onde a disponibilidade hídrica decorrente do escoamento superficial não é suficiente. A cisterna é uma forma simples e eficaz de armazenamento de água potável proveniente das chuvas que precipitam no telhado das casas. Este tipo de armazenamento é muito utilizado como forma alternativa, ou muitas vezes única, para atender a demanda do consumo humano. Regiões como o semi-árido nordestino em que mais de 70% da precipitação pluviométrica ocorre em 3 a 4 meses, torna-se necessário armazenar a água da chuva para ser consumida ao longo do ano. Para estimar melhor o volume a ser armazenado na cisterna, este trabalho propõe através de uma análise estatística da precipitação pluviométrica determinar o volume de água que pode chegar à cisterna para cada 1 m² de telhado conhecendo sua probabilidade de atendimento. A partir desta análise se pode verificar a área necessária de telhado para atender a unidade familiar. Caso a área de telhado seja menor será necessário ampliá-la. A informação gerada pelo estudo, irá auxiliar os órgãos gestores nas ações de convívio com a seca, principalmente na região semi-árida do Nordeste Brasileiro.

ABSTRACT --- Water shortage for human consumption is a painful situation for people who live in semiarid region. Cistern is a simple and efficient way for storing potable water from the roof. Sometimes this is the only way of having water in northeast semiarid where there is rain only in three or four months each year. For better calculating the average available water, this work performs a statistical analysis for estimating the water volume that reach 1 m² on the roof under a specified probability. With this information one can compute the area needed for getting enough water for a family use during the year. The results of this study will help water managers to elaborate public policies in brazilian northeastern semiarid region.

Palavras-chave: Cisterna, disponibilidade hídrica e água de chuva.

¹ DSc Eng. Civil, Professor do Núcleo de Tecnologia, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Rodovia BR-104, Km 59, Sítio Juriti - Zona Rural, 55.002-970 – Caruaru, PE. Fone: (81) 3727.6793. C-Elet.: pfaf@ufpe.br

² DSc Eng. Civil, Professor do Núcleo de Gestão, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Rodovia BR-104, Km 59, Sítio Juriti - Zona Rural, 55.002-970 – Caruaru, PE. C-Elet.: andremcavalcanti@click21.com.br

1. INTRODUÇÃO

A região semi-árida do Nordeste brasileiro tem precipitação pluviométrica abaixo de 800 mm. Esta região é conhecida como o polígono da seca. O período chuvoso tem uma duração de poucos meses, em torno de 4 a 5 meses, e caracteriza-se por registrar mais de 60 % das precipitações pluviométricas anuais.

A precipitação pluviométrica é mal distribuída espacialmente e temporalmente, mas sua média é suficiente para atender as necessidades da região. O problema grave é o armazenamento de água nesta região devido ao alto índice de evaporação.

Uma forma de armazenamento que vem sendo utilizada há alguns séculos e que vem sendo objeto de ação do governo, é a utilização de cisterna para armazenar a água da chuva. As cisternas representam a solução de melhor custo-benefício em relação a outras alternativas de combate à escassez de água na região (poços, micro-barragens, barragens subterrâneas). O Governo Federal criou o programa P1MC (Programa de 1 Milhão de Cisternas) para construir 1 milhão de cisternas na região semi-árida do nordeste brasileiro. Este programa realizou um estudo levando em consideração uma precipitação pluviométrica de 400 mm, uma área de telhado (captação) de 40 m² e que deveria atender a uma família de 5 pessoas. O P1MC determinou que a cisterna a ser construída deveria ter capacidade para armazenar 16 m³ (ANA, 2007).

Para melhor dimensionar o volume a ser armazenado deve-se levar em consideração, principalmente, a precipitação pluviométrica local, a área de captação disponível e o consumo da população a ser atendida.

2. METODOLOGIA

Para realizar uma análise da disponibilidade de água proveniente da chuva foi realizado um estudo estatístico para avaliar o potencial da precipitação pluviométrica a ser captada pela cisterna.

O estudo parte de uma série anual de precipitação pluviométrica que precipita em 1 m² de telhado. Devido o período chuvoso iniciar em períodos diferentes, conforme figura 1, o ano utilizado na série não foi o ano comercial, mas o período de 12 meses a contar o mês anterior ao início do período chuvoso.

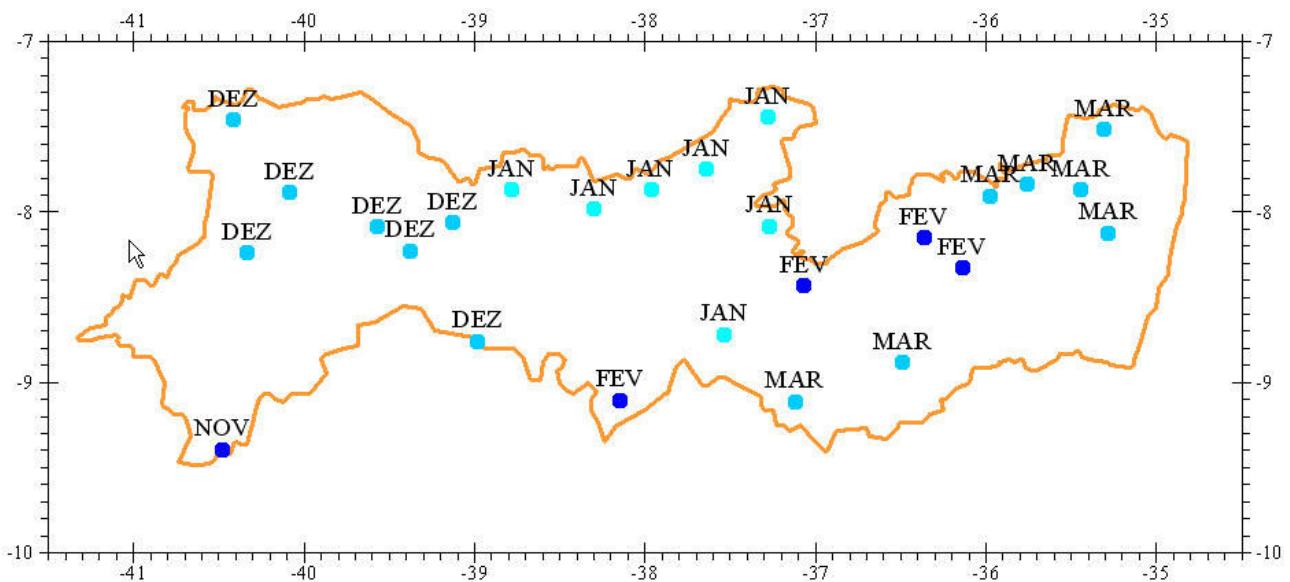


Figura 1 - Início do período chuvoso nas regiões semi-árida e agreste de Pernambuco.

Esta opção justifica-se devido ao grande percentual de chuva precipitada no período chuvoso, assim a cisterna enche no início do ano fictício e a população utiliza a água ao longo do ano principalmente no período seco, onde a quantidade de precipitação pluviométrica é insignificante para o armazenamento, como é o caso das localidades de Petrolina e Afogados da Ingazeira (figura 2 e 3, respectivamente).

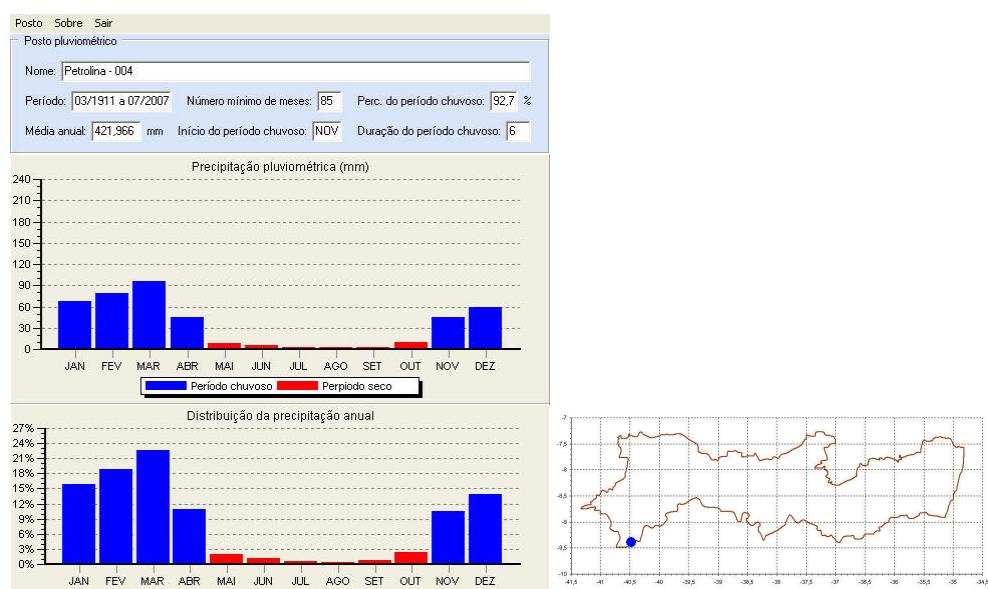
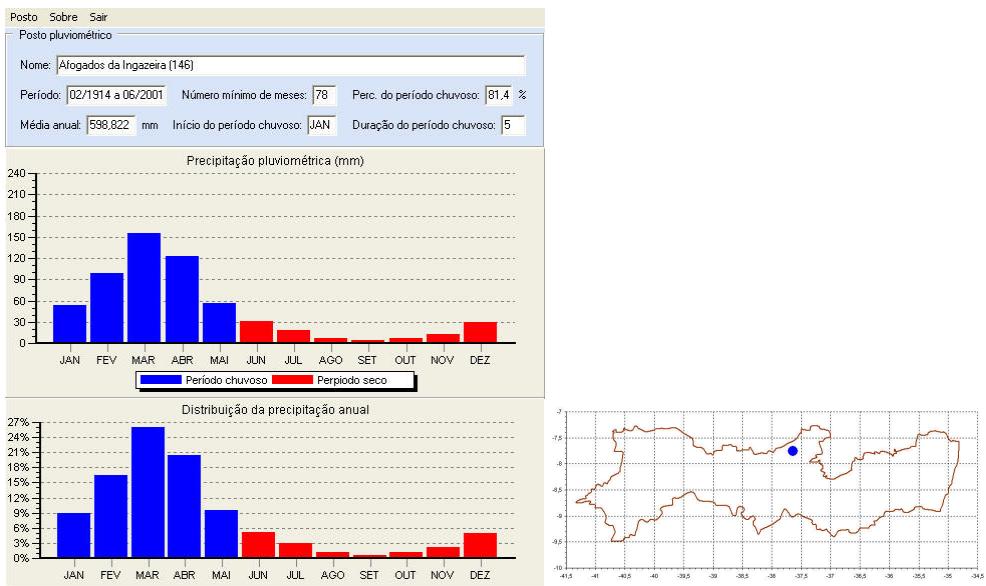


Figura 2 - a) Distribuição da precipitação pluviométrica média e b) localização da localidade de Petrolina.



a)

b)

Figura 3 - a) Distribuição da precipitação pluviométrica média e b) localização da localidade de Afogados da Ingazeira.

Será utilizada 2 tipos de série para cada localidade, a primeira série (série A) admite que a água precipitada da atmosfera chegue direto para a cisterna e a segunda série (série B) admite que existe uma perda de água entre o que cai no telhado e o que chega à entrar na cisterna. Esta perda é a chamada perda do sistema de captação que pode ser devido à absorção da água pela telha, goteira no telhado, vazamento na calha e na tubulação que leva a água até a cisterna e desvio das primeiras chuvas.

A série anual é gerada a partir dos dados diários menos as perdas, isto é, se no dia precipita mais que as perdas, o volume que chega a cisterna é a precipitação menos as perdas. Caso contrário, admite-se que neste dia não ocorreu precipitação.

A análise estatística é feita na série A. Como a precipitação anual independe da outra, então se pode considerar que a série de precipitação anual possui eventos independentes e pode ser tratada como uma distribuição contínua. As distribuições contínuas mais utilizadas em hidrologia estatística são: Normal, Log-Normal e Gama. Para verificar o ajuste da série será utilizado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (não paramétrico) e o do Qui-Quadrado (paramétrico) (Naghettini e Pinto, 2007).

Após o ajuste da distribuição será escolhida uma probabilidade associada ao não atendimento pela precipitação pluviométrica da demanda da população por m^2 de telhado. O valor desta precipitação será a disponibilidade pluviométrica anual para a série A (0,0 mm de perdas no sistema de captação).

Será ajustada uma curva entre as séries A e B e com esta curva poderá ser determinada a disponibilidade anual de água da série B (perdas no sistema de captação) a ser armazenada na cisterna associada a uma probabilidade de não atendimento na precipitação pluviométrica.

A capacidade da cisterna para atender a população será calculada em função do tamanho da população a ser atendida. Mas é necessário verificar se a disponibilidade hídrica (precipitação pluviométrica) consegue atender a demanda. Para tanto será multiplicada a disponibilidade pluviométrica anual, calculada anteriormente, pela área do telhado. Se a disponibilidade hídrica for menor, será necessário aumentar a área de captação (telhado) e/ou minimizar as perdas do sistema de captação, caso contrário a disponibilidade hídrica atenderá a demanda.

3. APLICAÇÃO A REGIÃO SEMI-ÁRIDA E AGRESTE DE PERNAMBUCO

A área escolhida para testar a metodologia abrange o semi-árido e o agreste pernambucano, regiões onde ocorre precipitação pluviométrica variando de 400 a 700 mm, conforme figura 4.

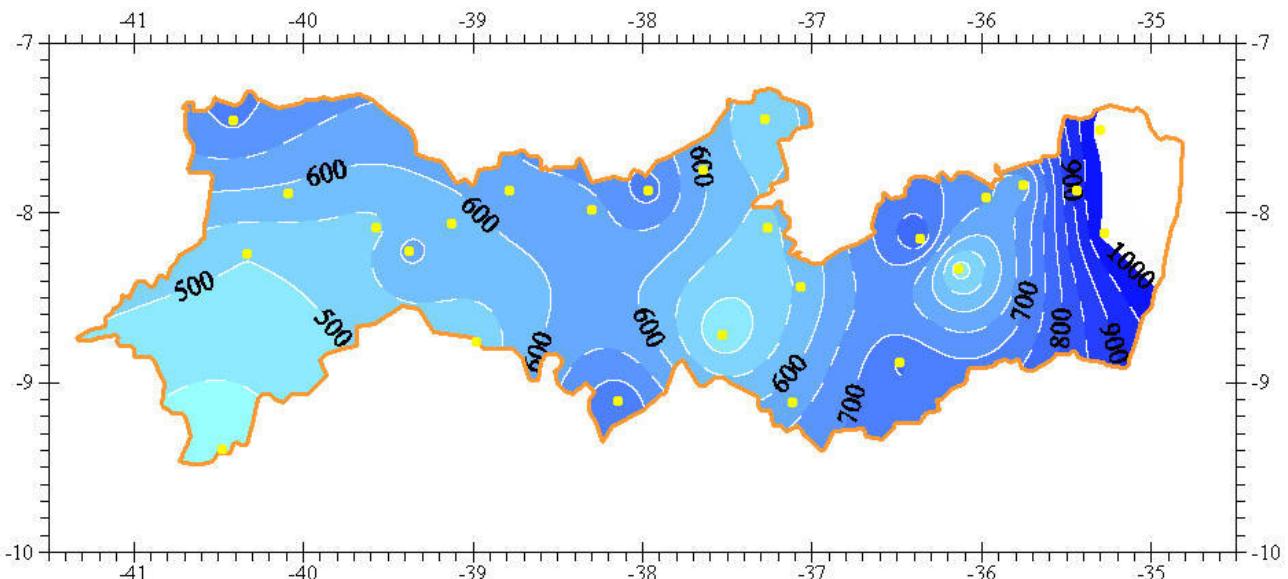


Figura 4 - Distribuição espacial da precipitação pluviométrica média anual nas regiões semi-árida e agreste de Pernambuco.

Para determinar a disponibilidade hídrica da localidade foram utilizados alguns postos pluviométricos que tem mais de 30 anos, segundo a OMM o posto representa a região após este período, perfazendo 26 postos, figura 5. Alguns postos com mais de 30 anos que pertencem a micro-clima foram desprezados.

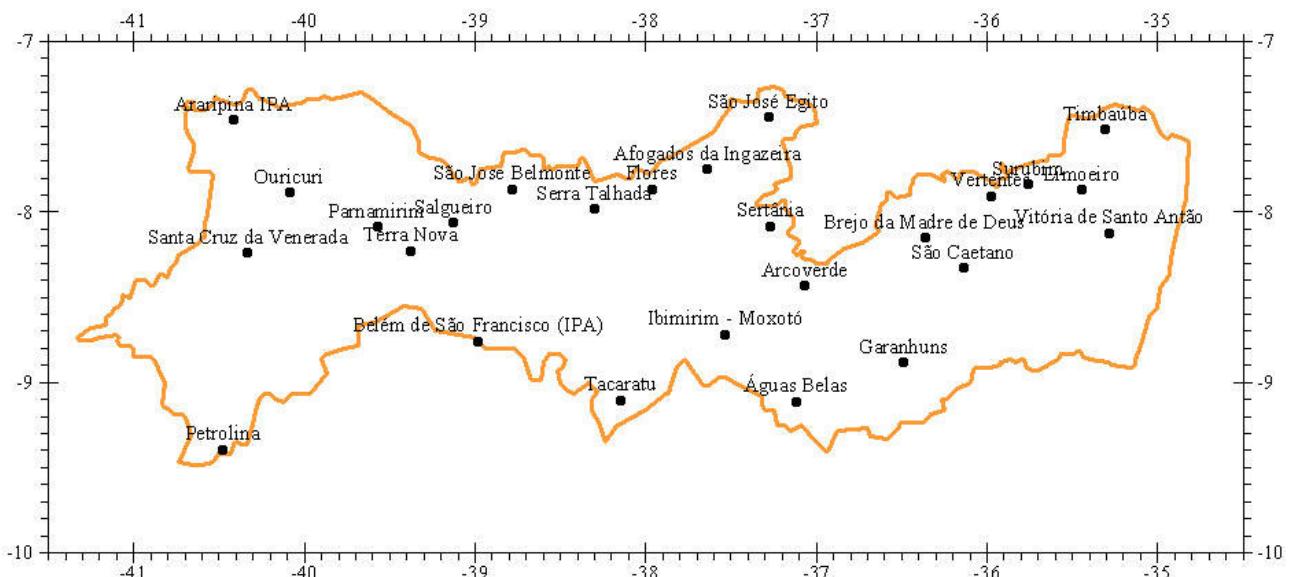


Figura 5 - Postos pluviométricos das regiões semi-árida e agreste de Pernambuco.

Para cada posto foram geradas as séries A e B. A tabela 1 mostra a quantidade de anos da série A e B para cada localidade estudada.

Como a perda do sistema de captação, é muito variada e depende da conservação do telhado e do sistema de captação, na aplicação, adotou-se duas perdas para a série B: uma perda de 1,0 mm para a série B1 e de 2,0 mm para a série B2. A série A equivale a perdas zero (0,0 mm).

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para avaliar o ajuste da série A as distribuições probabilísticas. Foi utilizado o intervalo de confiança de 95 %. A distribuição Gama só passou no posto de Afogados de Ingazeira, sendo rejeitada nos 25 postos restantes. A distribuição Log-Normal só não passou em 4 postos, são eles: Águas Belas; Brejo da Madre de Deus; Araripina (IPA) e Vertentes. A distribuição Normal passou em todos os postos sendo assim a adotada como a distribuição a qual será calculada a disponibilidade hídrica anual associada a uma probabilidade de não atendimento. A tabela 1 mostra o resultado do teste de aderência para as distribuições Normal e Log-Normal.

Nas figuras 6 a 9 são mostradas a distribuição Normal para alguns dos postos.

Com o ajuste da distribuição Normal a série A, foi determinada a disponibilidade hídrica para as probabilidades de 10 e 20 % de não atendimento, isto é, a disponibilidade hídrica a qual 90 e 80 % da precipitação pluviométrica ultrapassam este valor, respectivamente. As figuras 10 e 11 mostram como obter estes valores.

Tabela 1 - Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov.

| Posto pluviométrico | Anos | Normal | Log-Normal | Referência |
|------------------------------|------|---------|------------|------------|
| São José Egito | 84 | 0,07464 | 0,12737 | 0,148 |
| Timbaúba | 82 | 0,08793 | 0,09399 | 0,150 |
| Salgueiro | 78 | 0,10350 | 0,08937 | 0,154 |
| Serra Talhada | 76 | 0,09127 | 0,09856 | 0,156 |
| Tacaratu | 76 | 0,09058 | 0,07828 | 0,156 |
| São Jose Belmonte | 74 | 0,08276 | 0,14152 | 0,158 |
| Ouricuri | 72 | 0,10780 | 0,11110 | 0,160 |
| Petrolina | 72 | 0,08539 | 0,07408 | 0,160 |
| Afogados da Ingazeira | 71 | 0,09892 | 0,04888 | 0,161 |
| Águas Belas | 70 | 0,10411 | 0,20580 | 0,163 |
| Surubim | 69 | 0,09759 | 0,12834 | 0,164 |
| Parnamirim | 68 | 0,14993 | 0,07966 | 0,165 |
| Vitória de Santo Antão | 68 | 0,16107 | 0,09954 | 0,165 |
| Sertânia | 66 | 0,14160 | 0,09283 | 0,167 |
| Brejo da Madre de Deus | 64 | 0,09772 | 0,21622 | 0,170 |
| São Caetano | 55 | 0,11044 | 0,06280 | 0,183 |
| Santa Cruz da Venerada | 54 | 0,11206 | 0,11025 | 0,185 |
| Flores | 52 | 0,12986 | 0,09851 | 0,189 |
| Araripina (IPA) | 47 | 0,11565 | ----- | 0,198 |
| Vertentes | 46 | 0,10777 | 0,20762 | 0,201 |
| Garanhuns | 45 | 0,05661 | 0,09588 | 0,203 |
| Arcoverde | 42 | 0,10339 | 0,15926 | 0,210 |
| Terra Nova | 35 | 0,13535 | 0,06096 | 0,224 |
| Ibimirim - Moxotó | 33 | 0,14504 | 0,10980 | 0,231 |
| Belém de São Francisco (IPA) | 32 | 0,16562 | 0,12178 | 0,234 |
| Limoeiro | 30 | 0,06877 | 0,09937 | 0,242 |



Figura 6 - Distribuição Normal ajustada ao posto de São José do Egito.

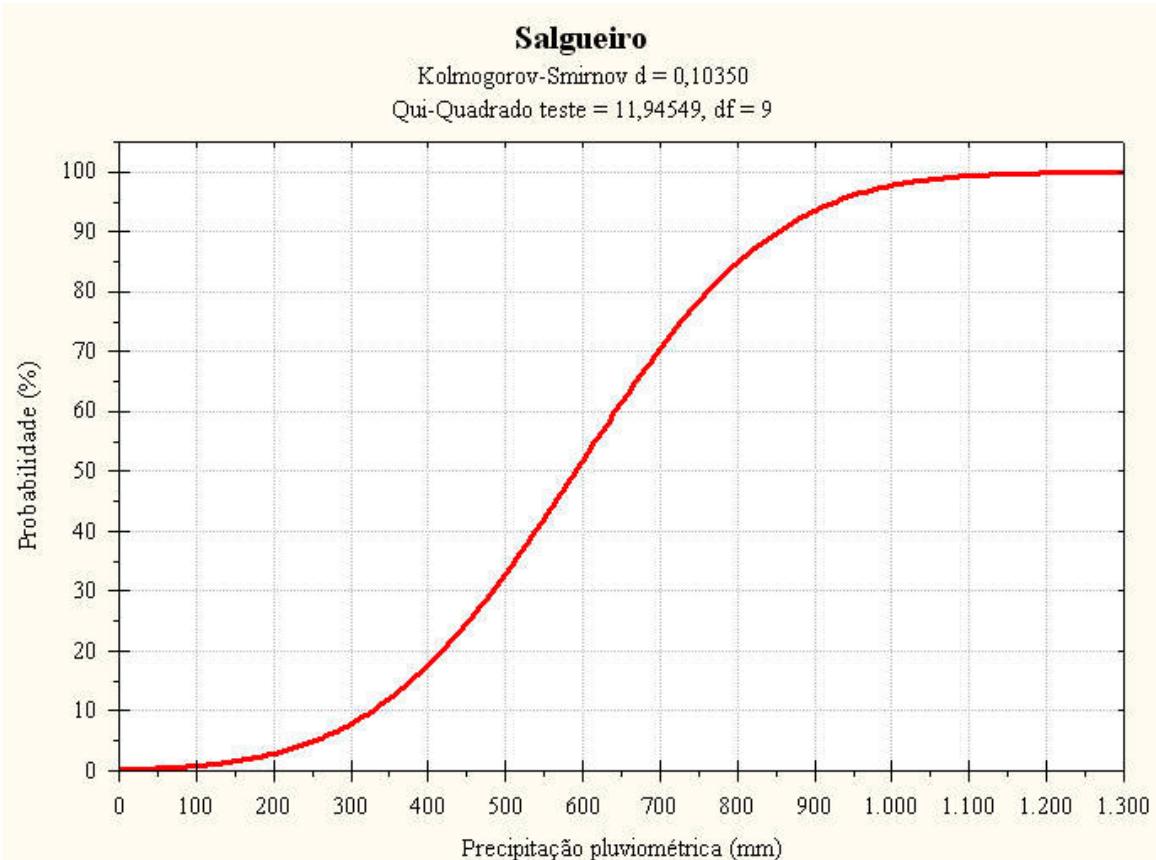


Figura 7 - Distribuição Normal ajustada ao posto de Salgueiro.

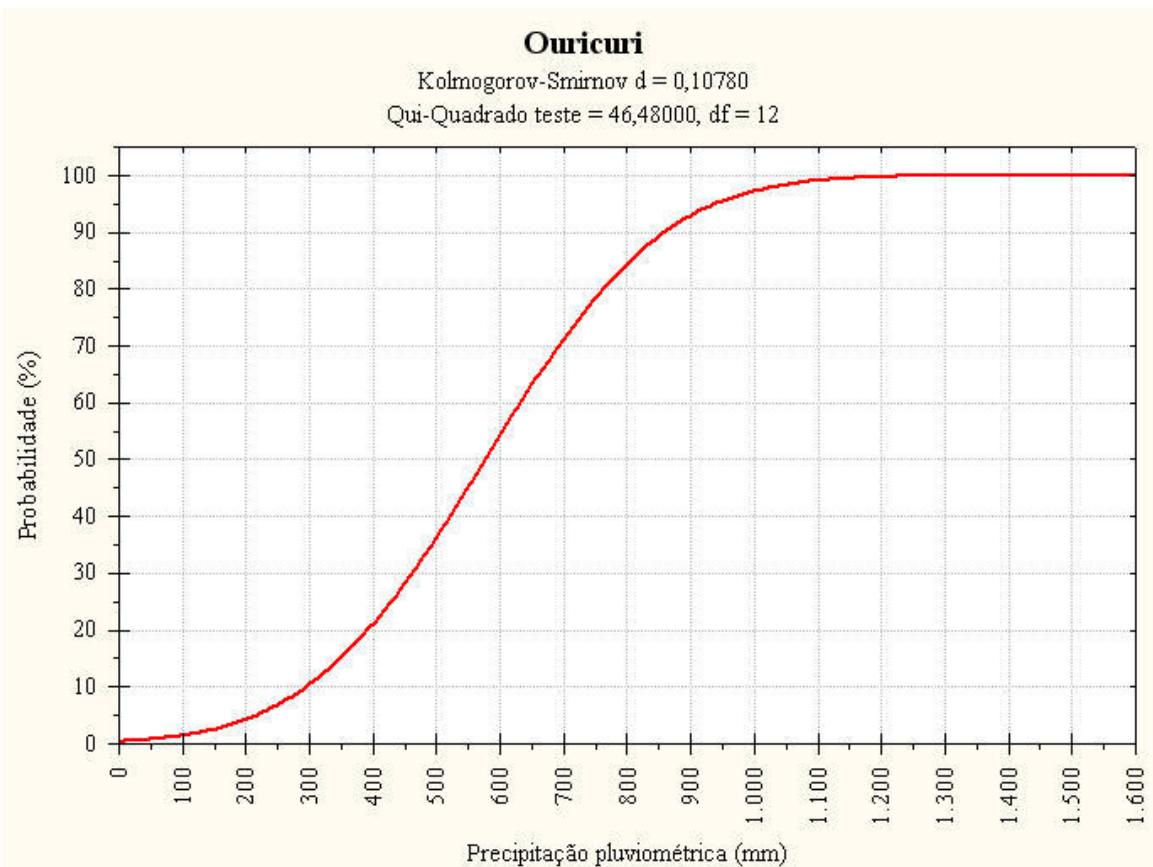


Figura 8 - Distribuição Normal ajustada ao posto de Ouricuri.

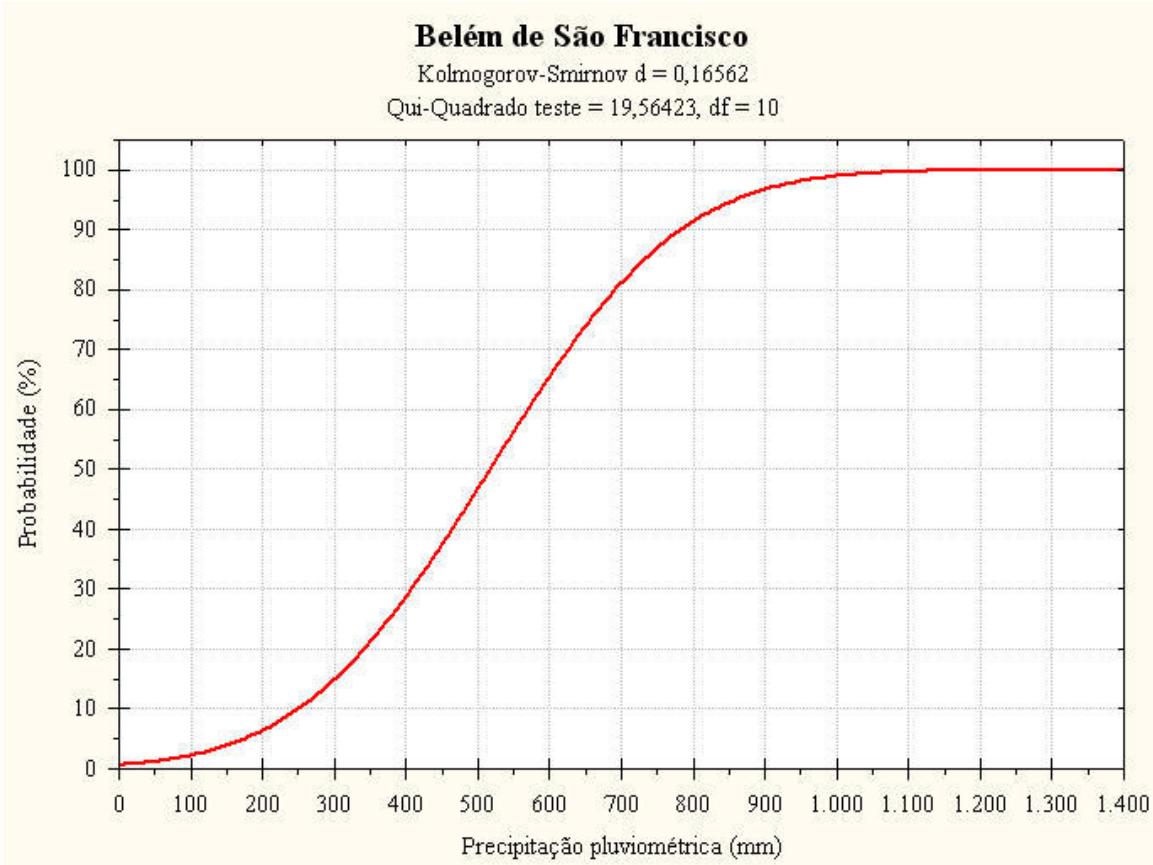


Figura 9 - Distribuição Normal ajustada ao posto de Belém de São Francisco.



Figura 10 - Determinação da disponibilidade hídrica associada a 10 e 20 % de não atendimento para o posto de São José do Egito.

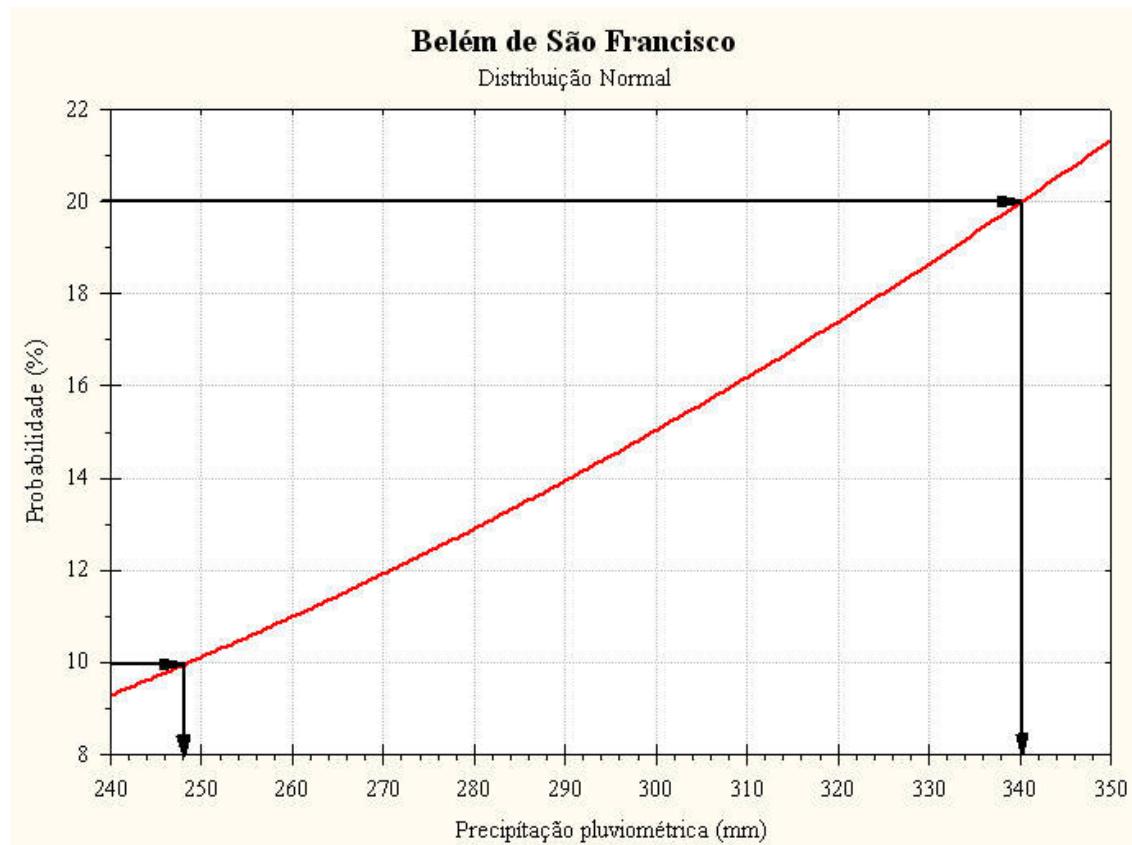


Figura 11 - Determinação da disponibilidade hídrica associada a 10 e 20 % de não atendimento para o posto de Belém de São Francisco.

A tabela 2 mostra as disponibilidades hídricas para a série A com probabilidade de 10 e 20 % de não atendimento obtidas para os 26 postos pluviométricos e a figuras 12 e 13 mostram a distribuição espacial.

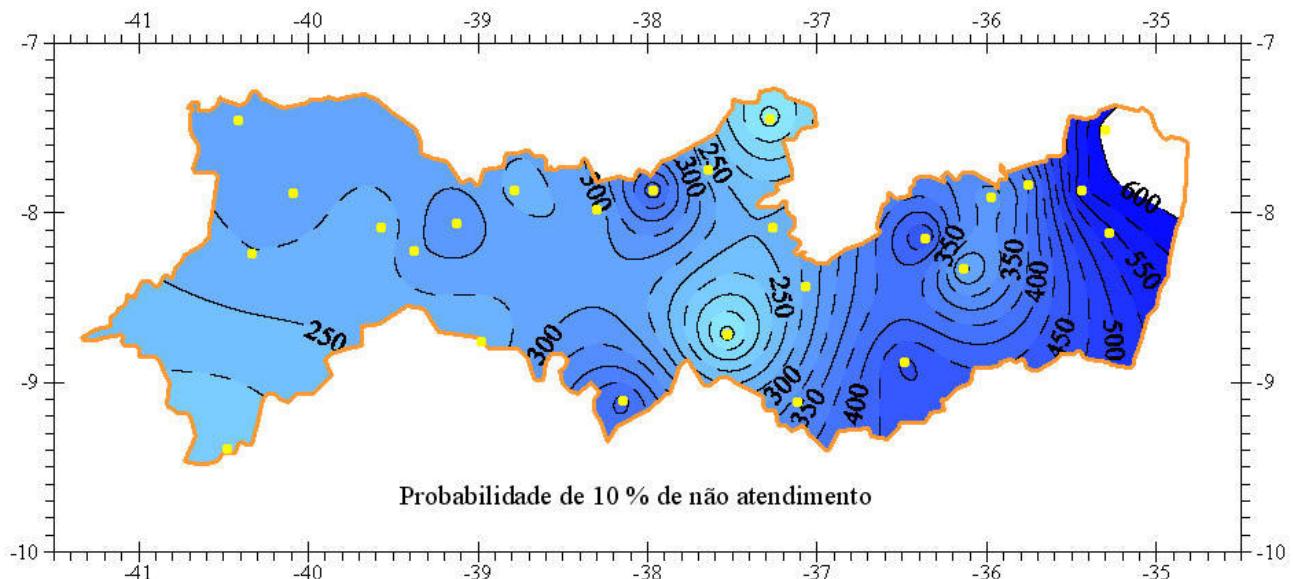


Figura 12 - Distribuição da disponibilidade hídrica com 10 % de não atendimento para a série A.

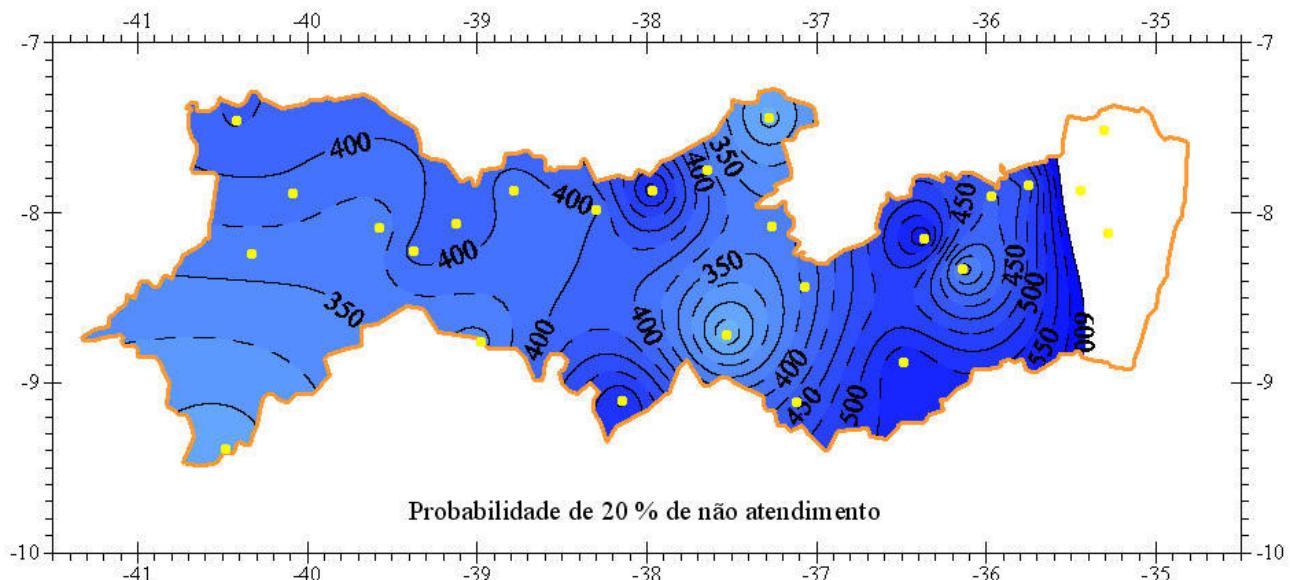


Figura 13 - Distribuição da disponibilidade hídrica com 20 % de não atendimento para a série A.

Para determinar a disponibilidade hídrica considerando as perdas do sistema de captação (séries B1 e B2), foi ajustada uma curva entre a série A e B para cada posto pluviométrico e com esta curva determinou-se a disponibilidade para 10 e 20 % de não atendimento para as séries B1 e B2, figuras 14 e 15 e tabela 2. A distribuição espacial da série B1 é mostrada nas figuras 16 e 17.

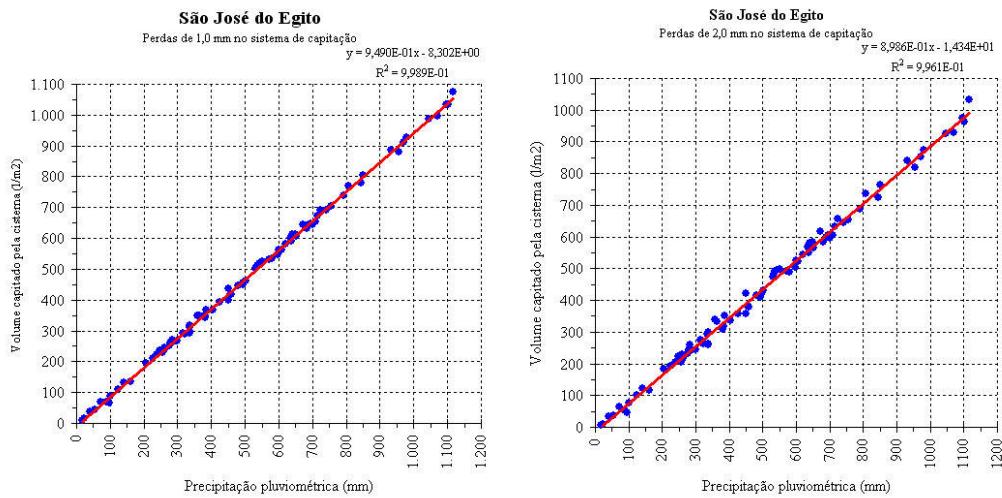


Figura 14 - Curva de ajuste das séries B1 e B2 com a série A para São José do Egito.

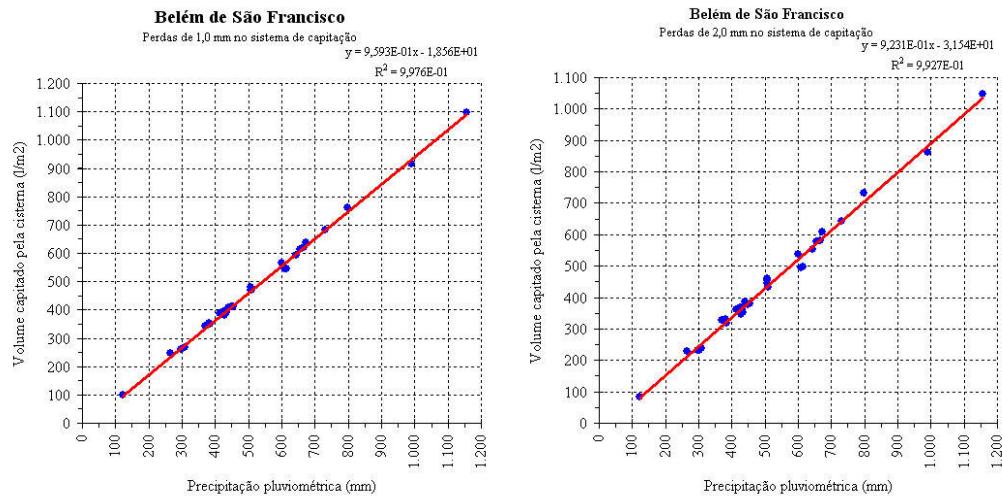


Figura 15 - Curva de ajuste das séries B1 e B2 com a série A para Belém de São Francisco.

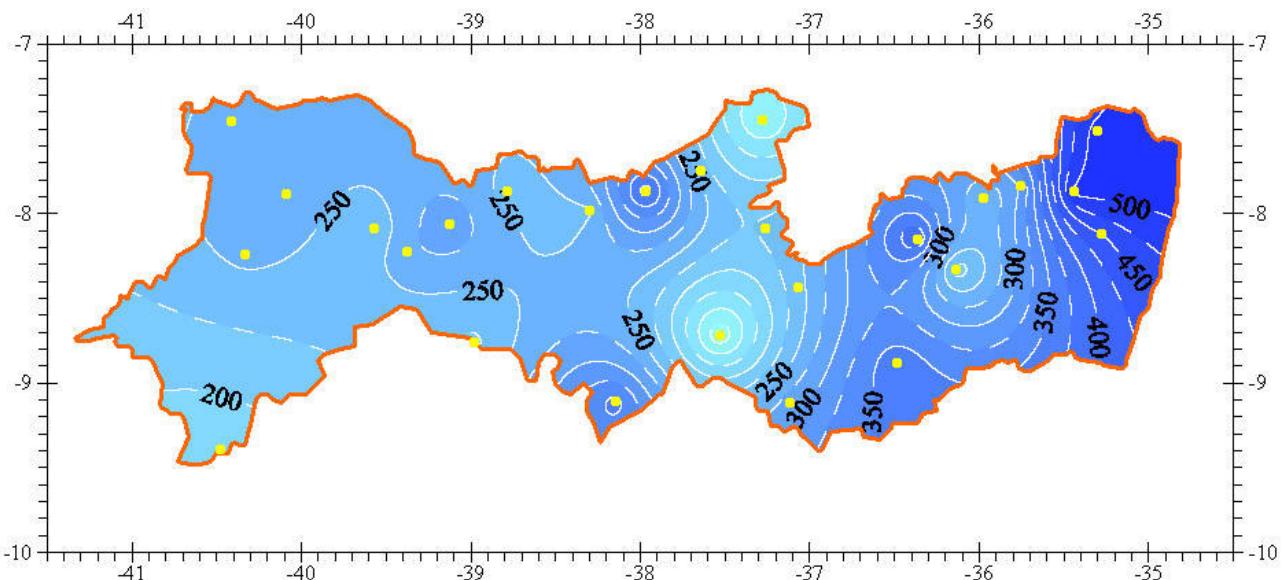


Figura 16 - Distribuição do volume capturado pela cisterna para a série B1 com 10 % de não atendimento.

Tabela 2 - Disponibilidade hídrica para as séries A, B1 e B2, em mm.

| Posto pluviométrico | Série A | | Série B1 | | Série B2 | |
|------------------------------|---------|------|----------|-------|----------|-------|
| | 10 % | 20 % | 10 % | 20 % | 10 % | 20 % |
| São José Egito | 137 | 262 | 121,7 | 240,3 | 108,8 | 221,1 |
| Timbaúba | 611 | 750 | 511,2 | 643,8 | 440,2 | 565,4 |
| Salgueiro | 326 | 416 | 295,0 | 379,7 | 268,8 | 348,9 |
| Serra Talhada | 281 | 398 | 247,2 | 358,5 | 218,9 | 325,1 |
| Tacaratu | 408 | 530 | 357,7 | 472,7 | 313,8 | 421,8 |
| São Jose Belmonte | 266 | 394 | 240,6 | 363,1 | 217,1 | 334,1 |
| Ouricuri | 293 | 391 | 268,8 | 360,4 | 247,8 | 333,5 |
| Petrolina | 202 | 284 | 180,3 | 259,2 | 162,3 | 238,0 |
| Afogados da Ingazeira | 261 | 381 | 235,6 | 350,3 | 217,6 | 327,4 |
| Águas Belas | 332 | 439 | 286,1 | 381,8 | 247,5 | 334,3 |
| Surubim | 373 | 459 | 302,5 | 380,8 | 252,8 | 324,4 |
| Parnamirim | 254 | 356 | 229,9 | 326,6 | 210,0 | 301,9 |
| Vitória de Santo Antão | 542 | 707 | 448,2 | 602,3 | 378,5 | 521,8 |
| Sertânia | 255 | 360 | 228,1 | 327,1 | 204,1 | 297,5 |
| Brejo da Madre de Deus | 456 | 576 | 400,7 | 515,1 | 353,0 | 461,7 |
| São Caetano | 266 | 334 | 210,2 | 271,7 | 171,2 | 227,0 |
| Santa Cruz da Venerada | 274 | 362 | 256,5 | 340,6 | 240,2 | 320,7 |
| Flores | 420 | 542 | 388,6 | 505,1 | 359,2 | 470,2 |
| Araripina (IPA) | 282 | 428 | 253,6 | 392,0 | 228,7 | 360,0 |
| Vertentes | 312 | 421 | 258,1 | 357,2 | 217,5 | 309,3 |
| Garanhuns | 456 | 550 | 369,0 | 455,0 | 300,6 | 379,6 |
| Arcos | 280 | 381 | 241,3 | 334,0 | 213,6 | 298,8 |
| Terra Nova | 294 | 410 | 269,9 | 381,4 | 247,9 | 355,1 |
| Ibimirim - Moxotó | 136 | 250 | 105,7 | 219,1 | 81,3 | 193,4 |
| Belém de São Francisco (IPA) | 248 | 340 | 219,3 | 307,6 | 197,4 | 282,3 |
| Limoeiro | 568 | 682 | 504,7 | 612,3 | 445,8 | 547,5 |

A distribuição espacial para a série B2 é mostrada nas figuras 18 e 19.

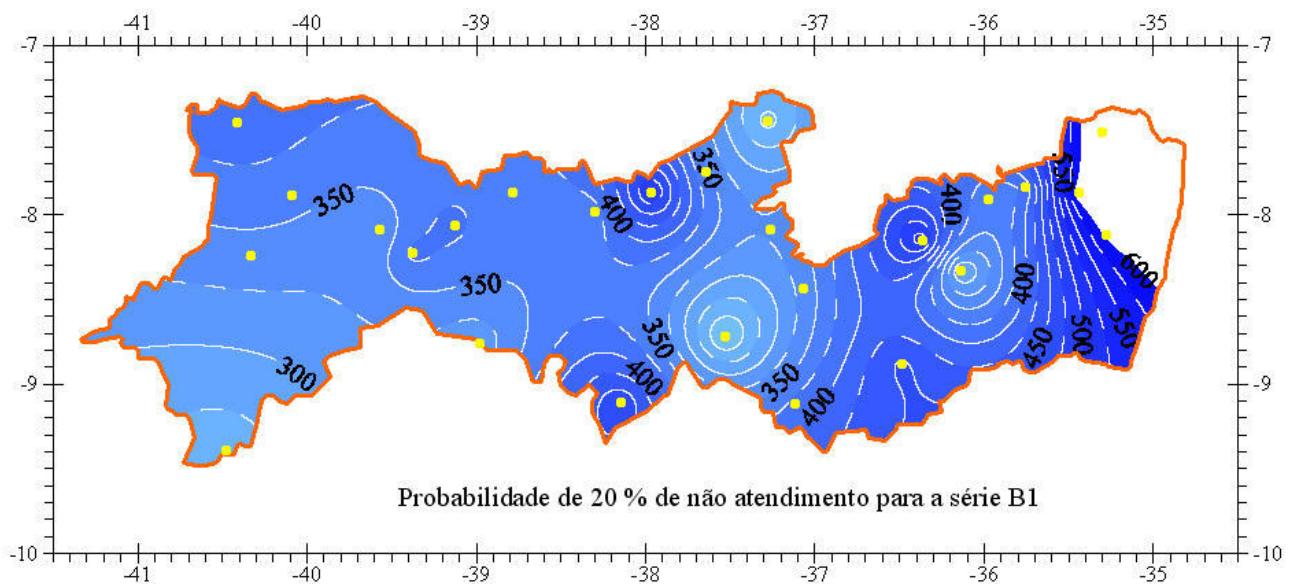


Figura 17 - Distribuição da disponibilidade hídrica com 20 % de não atendimento para a série B1.

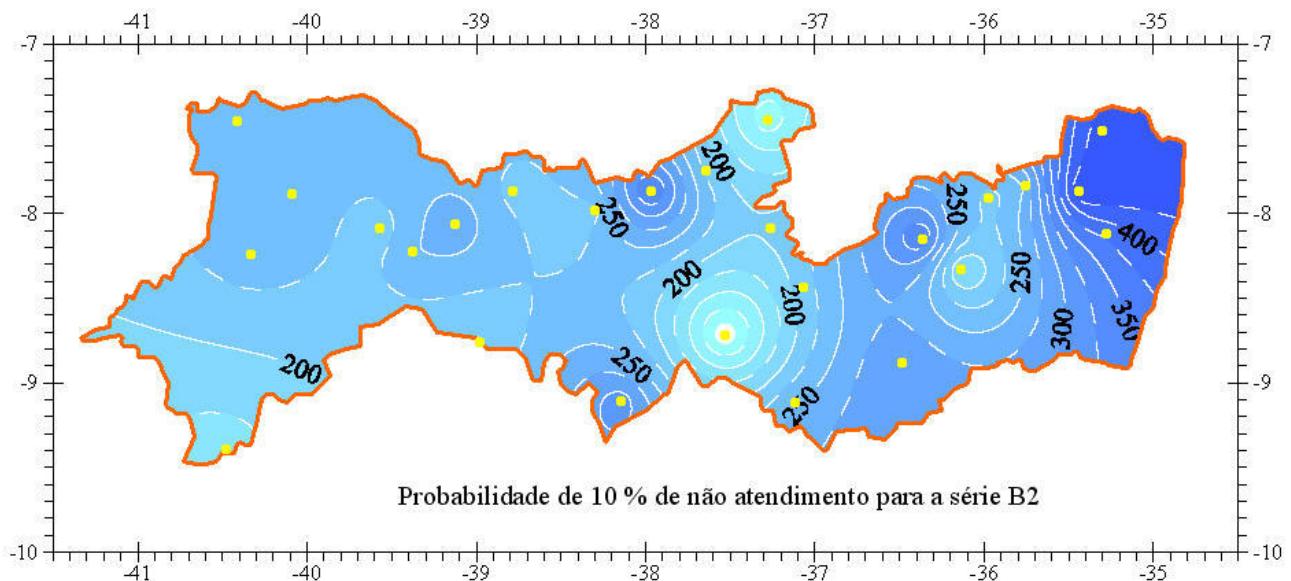


Figura 18 - Distribuição da disponibilidade hídrica com 10 % de não atendimento para a série B2.

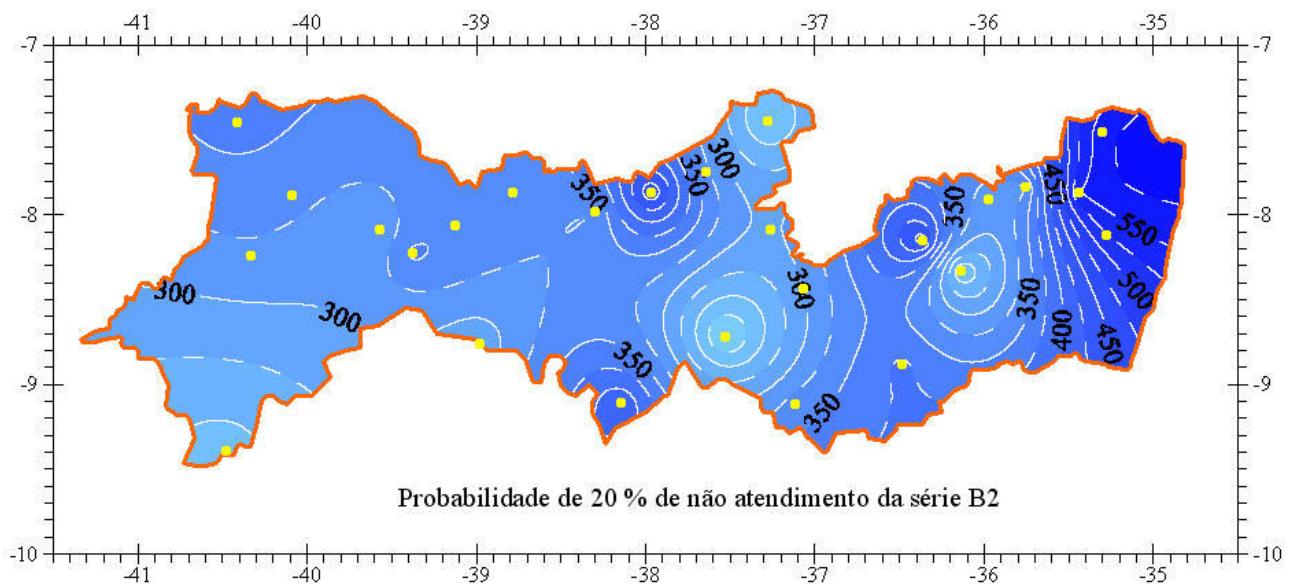


Figura 19 - Distribuição da disponibilidade hídrica com 20 % de não atendimento para a série B2.

4. COMENTÁRIOS FINAIS

Esta metodologia mostrou que a disponibilidade hídrica do local onde vai ser instalada a cisterna é importante, mas, se a disponibilidade hídrica for insuficiente, pode-se, em certas situações, aumentar a área de captação e atender a população.

A distribuição espacial da disponibilidade hídrica ajudará aos órgãos gestores na tomada de decisão quanto ao atendimento da população que mora nas regiões onde a escassez de água é prolongada.

Adotando a demanda que foi utilizada pelo P1MC de 16 m³ e com área de captação de telhado de 40 m², verifica-se que para a série A e 10 % de não atendimento só 7 localidades a precipitação não encheria a cisterna em 1 ano dentre 10 anos. São eles: Brejo da Madre de Deus, Flores, Garanhuns, Limoeiro, Tacaratu, Timbauba e Vitoria de Santo Antao. Já para a série A e 20 % de não atendimento, aumenta para 16 postos. Para que a cisterna encha será necessário aumentar a área de captação (telhado).

O próximo passo é estender esta metodologia para os outros postos de Pernambuco com mais de 30 anos e dos Estados que compõem o polígono da seca para montar um mapa para orientar os órgãos gestores.

AGRADECIMENTOS

A FINEP e ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto “Melhoramentos Tecnológicos e Educação Ambiental para a Sustentabilidade dos Projetos de Armazenamento de Água de Chuva em Cisternas do Nordeste Semi-Árido”.

BIBLIOGRAFIA

ANA. www.ana.gov.br, consultado em 10 de junho de 2007.

ASA. www.asa.org.br, consultado em 05 de junho de 2007.

BENJAMIN, J. R. & CORNELL, C. A. (1970) *Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers*. 673 p.

Naghettini, M. & Pinto, É. J. A. (2007) *Hidrologia estatística*. CPRM Belo Horizonte, 552 p.