

Caracterização pluviométrica, precipitações máximas e balanço hídrico para diferentes regimes pluviométricos em mesoregiões de Pernambuco

Rainfall characterization, high precipitations and water balance for different pluviometric regimes in Pernambuco state mesoregions

Resumo:

O presente trabalho tem por objetivo analisar o ajuste dos dados de precipitação máxima anual à distribuição de extremos de Gumbel, estimar as precipitações máximas anuais para os períodos de retorno, identificar, por meio da técnica de Quantis, o perfil da precipitação e a sua variabilidade temporal e espacial, além da realização do balanço hídrico para as classes quantílicas em diferentes mesoregiões de Pernambuco. O maior valor de precipitação anual registrado na região do Sertão foi de 1275,7 mm, o menor de 156,1 mm para os anos de 1985 e 1993, respectivamente. Já na região Agreste, o ano 2010 foi o ano mais chuvoso, com 1446 mm, e 2015 o ano mais seco, com apenas 362,2 mm. Na região litorânea, os anos de 2004, com 2532,7 mm, e de 1998, com 1249,7 mm, foram os que apresentaram maior e menor precipitação anual, respectivamente. Com a técnica de Quantis observa-se observar que as séries históricas estudadas possuem precipitações anuais médias $Q(0,50)$ de 524,2; 863,9 e 2296,9 mm, para Cabrobó, Garanhuns e Recife, respectivamente.

Abstract:

The aim of the present work is to analyze the adjustment of annual maximum precipitation data to the distribution of Gumbel extremes, to estimate the maximum annual precipitation for the return periods, to identify, through the Quantis technique, the precipitation profile and its variability temporal and spatial, as well as the water balance for the quantum classes in different mesoregions of Pernambuco. The highest annual precipitation value in the Sertão region was 1275.7 mm, the lowest of 156.1 mm for the years 1985 and 1993, respectively. In the Agreste region, the year 2010 was the wettest year, with 1446 mm, and 2015 the driest year, with only 362.2 mm. In the coastal region, the years 2004, with 2532.7 mm, and of 1998, with 1249.7 mm, were those that presented greater and smaller annual precipitation, respectively. With the Quantis technique, it can be observed that the historical series studied have mean annual rainfall $Q(0.50)$ of 524.2; 863.9 and 2296.9 mm, for Cabrobó, Garanhuns and Recife, respectively.



Iug Lopes¹, Juliana Maria Medrado de Melo¹, Abelardo Antônio Assunção Montenegro², Miguel Júlio Machado Guimarães¹, Breno Lopes³, Brailiro Gonçalves Leal⁴

1 Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Recife-PE., E-mail: iuglopes@hotmail.com; medrado.melo@gmail.com; mjmguiaraes@hotmail.com.

2 Professor do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Recife-PE., E-mail: abelardomontenegro666@gmail.com;

3 Graduando em Agronomia, Instituto Federal do Sertão de Pernambuco, E-mail: brenoloopes@hotmail.com;

4 Professor do Colegiado de Engenharia da Computação, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA., E-mail: brailiroleal@gmail.com.

Contato principal
Iug Lopes¹



Palavras chave: Quantis, Thornthwaite; Classificação climática; Hidrologia

keywords: Quantile, Thornthwaite; Climate classification; Hydrology



INTRODUÇÃO

Para o desenvolvimento populacional no que tange ao setor econômico e ao social, o desenvolvimento agrícola constitui um dos principais fatores. Para tais desenvolvimentos dependem da disponibilidade hídrica no que se refere à qualidade e quantidade, adequados para os diversos usos. Apesar do componente principal, a água, ser constantemente renovado pela ocorrência do ciclo hidrológico, contudo sua distribuição temporal e espacial é muito variável (SANTOS et al. 2012).

Estudos desta variável tem recebido atenção especial nas últimas décadas, e entre os estudos mais importantes, destaca-se a classificação do regime pluviométrico de regiões agrícolas (ALMEIDA et al. (2013), SANTOS et al. (2014), ARAÚJO et al. (2007), GUIMARÃES et al., 2016). Com estes estudos, observa-se diversas metodologias que são usadas estatisticamente para avaliar e classificar o comportamento pluviométrico, podendo-se destacar a ferramenta Índice de Anomalia de Chuva (IAC), o Índice Padronizado de Precipitação (SPI) e a Técnica de Quantis. Essa última tem um grande destaque por estabelecer os meses ou anos secos e chuvosos, permitindo estabelecer o regime climático de uma determinada região ou local, utilizando-se apenas os dados de precipitação pluvial.

A técnica de quantis, descrita por Xavier e Xavier (1987), e Xavier (2001), fundamenta-se na análise de distribuição de frequência acumulada, e quando o número de observações disponíveis é igual ou maior a 30 anos, melhor é a aproximação da função densidade de probabilidade que descreve o fenômeno.

A aplicação da técnica possibilita a delimitação de faixas com regimes de chuvas diferenciados, tais como: muito seco (Ms), seco (S), normal (N), chuvoso (C) e muito chuvoso (Mc) (ALMEIDA et al., 2013). Com essa classificação, pode ser realizado o balanço hídrico climatológico (BHC) para as respectivas classes quantílicas, assim se obtendo de forma mais precisa as suas variações sazonais de excedentes e de deficiências hídricas, por período (FARIAS et al., 2012).

Nos diversos sistemas de classificações climáticas, destaca-se o de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), em que utilizam índices climatológicos fundamentados com base no BHC, constituindo-se metodologias mais clássicas de regionalização climática. A aplicação do balanço hídrico de Thornthwaite possibilita que seja avaliado a disponibilidade hídrica no solo, com um conceito de volume fixo para o reservatório sub-superficial, assim correspondendo ao volume de água armazenada, desde os valores residuais até níveis de saturação do solo (MORAES, 2007).

O balanço hídrico é a forma mais eficaz para realizar a estimativa do potencial hídrico de uma determinada

região, por considerar fatores edafoclimáticos, que interferem no armazenamento de água no solo, dependendo de suas características físicas, principalmente associado à precipitação e à evapotranspiração. A avaliação do BHC permite ainda identificar várias condições, sendo de excedente, reposição, retirada ou deficiência de água no solo (AMORIM NETO, 1989).

A metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) é aplicada de forma contraditória por vários pesquisadores, em virtude da metodologia estar associada à água armazenada no solo, e não à água disponível ou até mesmo à água superficial.

Segundo Souza et al. (2015), o estudo das condições climáticas no Estado de Pernambuco, e mais especificamente no que tange ao balanço hídrico, torna-se de suma importância, uma vez que a não ocorrência de precipitações pode causar prejuízos em atividades agropecuárias, em uma região que apresenta os maiores índices de escassez do país.

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo analisar o ajuste dos dados de precipitação máxima anual à distribuição de Gumbel, estimar as precipitações máximas anuais para os períodos de retorno, identificar, por meio da técnica de Quantis, o perfil da precipitação e a sua variabilidade temporal e espacial, além da realização do balanço hídrico para as classes quantílicas em diferentes mesorregiões do Estado de Pernambuco, fornecendo relevantes informações no tocante às áreas que devem ser, prioritariamente, contempladas com medidas de gestão e mitigação de efeitos das mudanças climáticas.

MATERIAIS E MÉTODOS

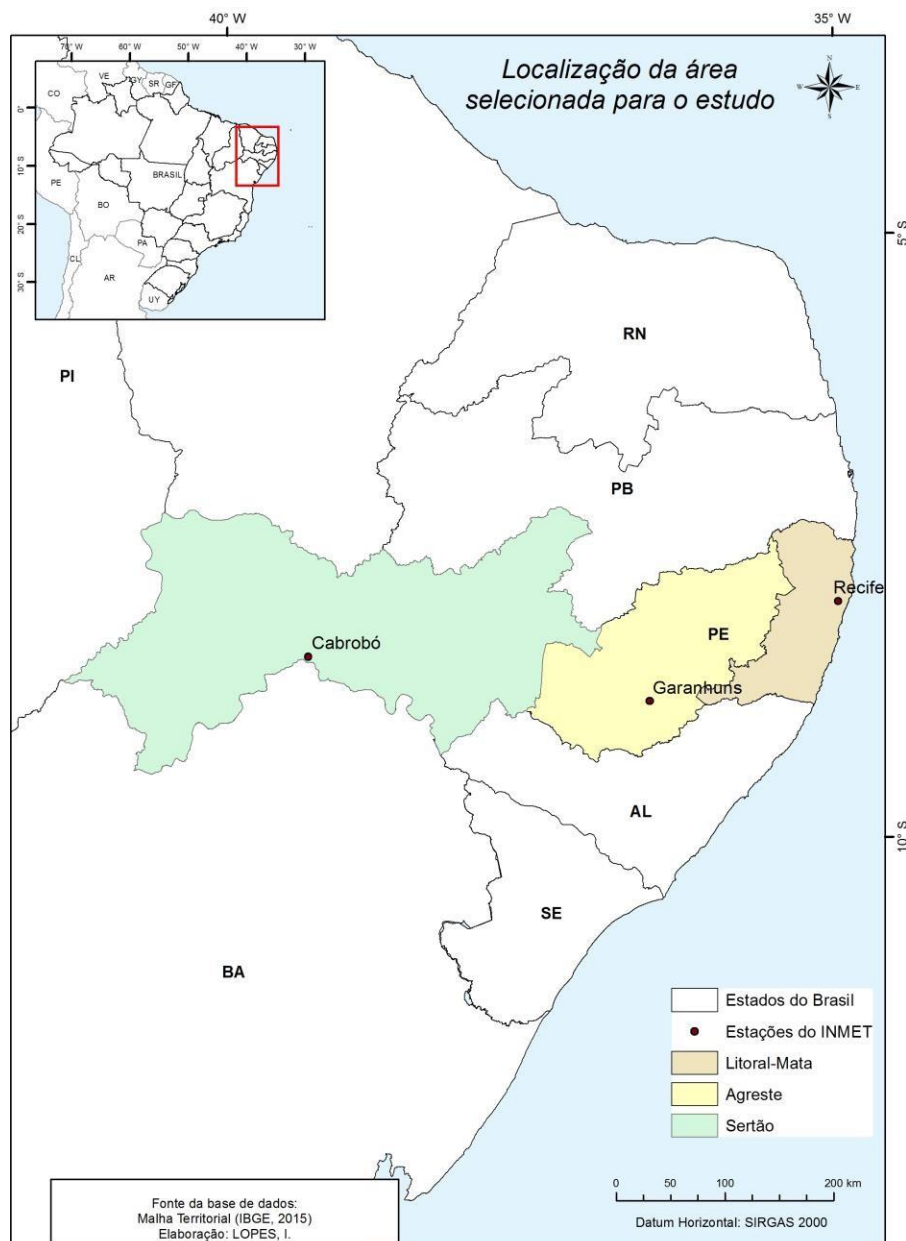
ÁREA DE ESTUDO

Os dados de precipitação e temperatura utilizados na pesquisa foram obtidos nas Estações Meteorológicas Convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia, localizadas nos municípios de Cabrobó, Garanhuns e Recife – PE (Figura 1). Em Cabrobó, no Sertão pernambucano, o clima é semiárido, segundo Köppen, como tipo Bsw. O índice pluviométrico anual médio é 554,5 mm, distribuído entre os meses de dezembro a abril. A temperatura média anual é de 26,5 °C, com média mínima de 20,6 °C e máxima de 31,7 °C (Ramos et al., 2011).

Para Garanhuns, o clima tem características de tropical quente sub-úmido seco, referentes ao As', BShs' e Cs'a, segundo Köppen. Com temperatura média anual entre 20,1 e 22,0 °C, pluviosidade entre 751 – 1000 mm anuais (Barbosa et al., 2016).

Para a região de Recife, o clima tem características de As' e BSh, segundo Köppen., ou seja, precipitações no outono e inverno. Médias de temperaturas mensais superiores a 18°C (Silva et al., 2014).

Figura 1. Localização das estações meteorológicas do INMET e respectivas mesoregião de Pernambuco.



Foi utilizado dados mensais de precipitação do INMET, convertendo em anual quando necessário. Compreendeu uma série histórica de 53 anos, de janeiro de 1963 a dezembro de 2016, em atendimento a recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) (WMO, 1989) que prevê confiabilidade em conjunto de dados meteorológicos com registros de 30 anos ou mais. Após a obtenção dos dados de precipitação anual máxima avaliou-se, pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, as seguintes hipóteses H0: a distribuição de Gumbel se ajusta aos dados e H1: a distribuição de Gumbel não se ajusta aos dados. As análises estatísticas foram realizadas em planilhas e no software Sisvar 5.0

(FERREIRA, 2003).

Com a verificação da aderência dos dados à distribuição de Gumbel (1958), foram estimados os valores máximos dos acumulados anuais de precipitação pelo método, desse autor, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 e 300 anos. A Equação 1 representa a função de probabilidade acumulada da distribuição de Gumbel, onde se pode calcular a precipitação máxima anual em função do tempo de retorno a partir da sua inversa (Equação 2).

Equação 1 $F_y(y) = \exp[-\exp(-(y-\beta)/\alpha)]$

Equação 2 $X(T) = \mu - \alpha \ln[-\ln(1-1/T)]$

em que:

$x(\log t)$ – precipitação máxima em função do tempo de retorno;

$\log t$ – logaritmo do tempo de retorno;

μ - parâmetro de forma;

α – parâmetro de escala;

Os parâmetros desta distribuição de probabilidade foram estimados pelo Método dos Momentos conforme Equações 3 e 4.

$$\text{Equação 3} \quad \mu = \bar{X} - 0,451 * S$$

$$\text{Equação 4} \quad \alpha = 1,2826 / S$$

em que:

\bar{X} – média dos dados;

S – desvio padrão;

Posteriormente os dados foram ordenados para definição dos quantis climatológicos para o período estudado.

A Técnica dos Quantis baseia-se na frequência acumulada e foi descrita por Xavier e Xavier (1987), Xavier (2001) e proposta por Pinkayan em 1966, para avaliar a ocorrência dos anos secos e chuvosos sobre áreas extensas.

No presente trabalho, os quantis utilizados para caracterização climática da precipitação foram definidos nas categorias: muito seco (MS: 0 – 15%), seco (S: 15 – 35%), normal (N: 35 – 65%), chuvoso (C: 65 – 85%) e muito chuvoso (MC: 85 – 100%). Ao aplicar a técnica, foi constatado que a série histórica estudada possui uma precipitação anual média (Q0,50), sendo o intervalo estabelecido para cada classe extrema, considerados como muito seco e muito chuvosos.

Após serem classificados, os anos foram agrupados de acordo com o regime pluviométrico para determinação do balanço hídrico correspondente a cada classe.

Os dados mensais de precipitação e temperatura média condensada adquiridos foram utilizados de forma direta no cálculo de precipitação e de evapotranspiração potencial, ambos anuais. Assim calculou-se o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) segundo a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955) para a série estudada, e o balanço hídrico para cada classe quantílica.

Os dados mensais de precipitação e temperatura média condensada adquiridos foram utilizados de forma direta no cálculo de precipitação e de evapotranspiração potencial, ambos anuais. Assim calculou-se o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) segundo a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), para a série estudada, e o balanço hídrico para cada classe quantílica.

O cálculo da precipitação anual (Pr) foi realizado através

da soma direta e o da evapotranspiração potencial (ETP) (mm/mês) realizado através da Eq.5.

$$\text{Equação 5} \quad ETP = 16,2 \left[10 * \frac{T}{I} \right] * a$$

onde:

T - temperatura média mensal do ar (°C);

I - índice de calor.

O valor do parâmetro “a” é determinado em função do I, de acordo com a Eq.6.

Equação 6

$$a = 6,750 * 10^{-3} I - 7,711 * 10^{-5} I + 1,792 * 10^{-2} I + 0,492$$

Esse procedimento foi realizado com o auxílio da planilha eletrônica “BHnorm61”, elaborada por Rolim e Sentelhas (1999), e a Capacidade de Água Disponível (CAD) utilizada foi de 100 mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

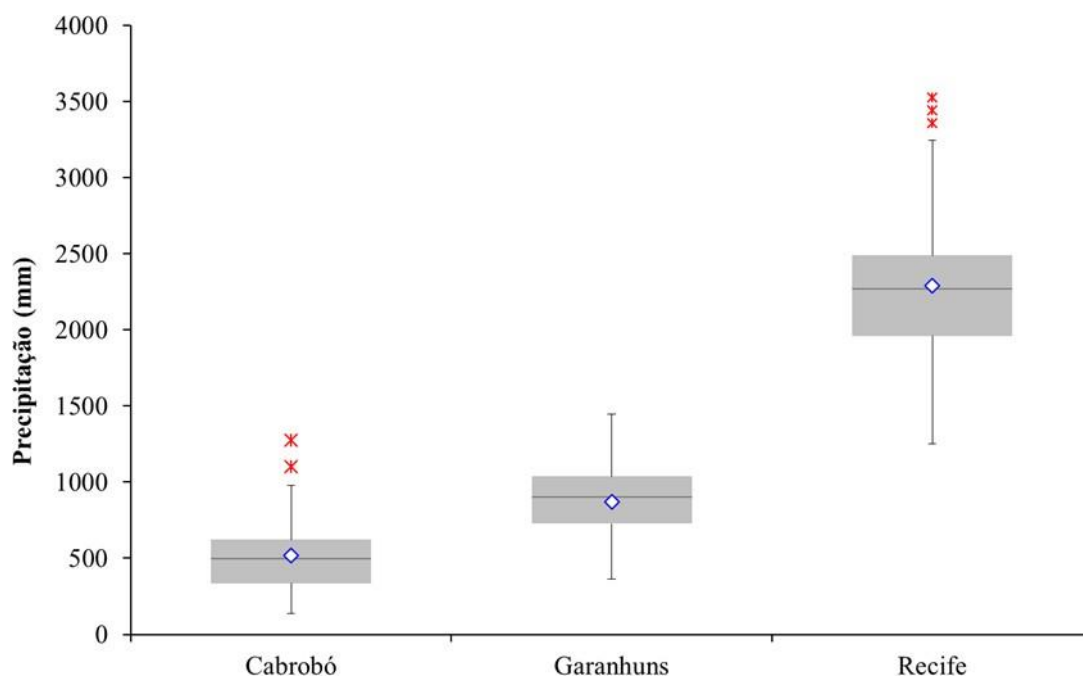
Ao avaliar o perfil histórico da precipitação no período de 1963 a 2016 para o transecto do Estado de Pernambuco, observa-se a ocorrência de regimes pluviométricos muito variados no período, havendo distribuição distinta para cada representante das mesorregiões. Além de que, observa-se também a existência de eventos extremos de precipitação anual para Cabrobó e Recife.

A mesorregião do Sertão Pernambucano apresentou grande variação de precipitações entre anos muito secos e muito chuvosos. Nóbrega et al. (2015) também observaram grande variabilidade com relação à ocorrência eventos extremamente seco e chuvosos.

Para a região do Agreste, Garanhuns apresentou dados com as variações de 450 a 1500 mm, corroborando com Barbosa et al. (2016), os quais observaram que as maiores precipitações estão em torno de 1200 mm e menores em torno de 500 mm. Os mesmos concluíram que estas variações podem estar relacionadas com a altitude na região, que pode ser considerada um Brejo de Altitude.

A precipitação observada para a região litorânea corresponde aproximadamente a 400% do Sertão e 300% do Agreste. Essa alta precipitação atende, segundo o Serviço Geológico do Brasil (2011), quase que uniformemente, toda a faixa litorânea do Estado com aproximadamente 39 sub-bacias.

Figura 2: Box-plot dos dados de precipitação anual avaliados neste estudo, para série histórica nas estações localizada nas diferentes mesorregiões entre os anos de 1963 e 2016.

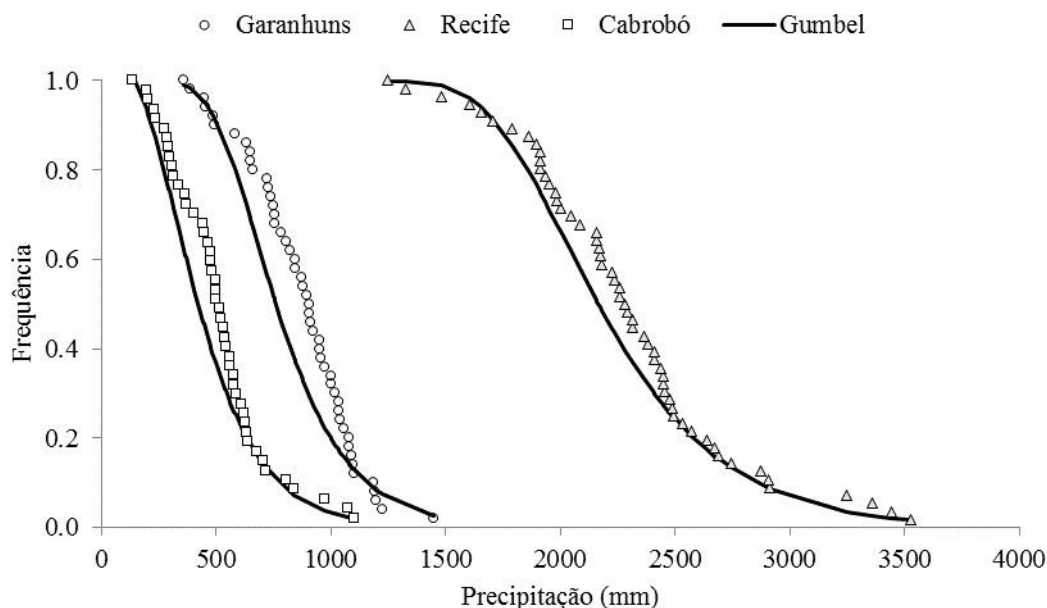


Com a observação da variação da precipitação para as mesorregiões, pode-se observar a distribuição por frequência de ocorrência de eventos anuais e estimadas pelo modelo de Gumbel (Figura 3). Pode-se verificar uma distribuição de probabilidade de Gumbel adequada na estimativa da intensidade de precipitação máxima anual com a avaliação pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 1% de significância e 47, 50 e 56 dados para Cabrobó, Garanhuns e Recife, respectivamente.

O maior valor de precipitação anual registrado na região do Sertão foi de 1275,7 mm, enquanto o menor de 156,1

mm para os anos de 1985 e 1993, respectivamente. Já na região Agreste, o ano 2010 foi o ano mais chuvoso, com 1446 mm, e 2015 o ano mais seco, com apenas 362,2 mm. Na região litorânea, os anos de 2004, com 2532,7 mm, e de 1998, com 1249,7 mm, foram os que apresentaram maior e menor precipitação anual, respectivamente. Tal diferença é fundamental para o delineamento de aptidão agrícola devido a variabilidade dos regimes pluviométricos.

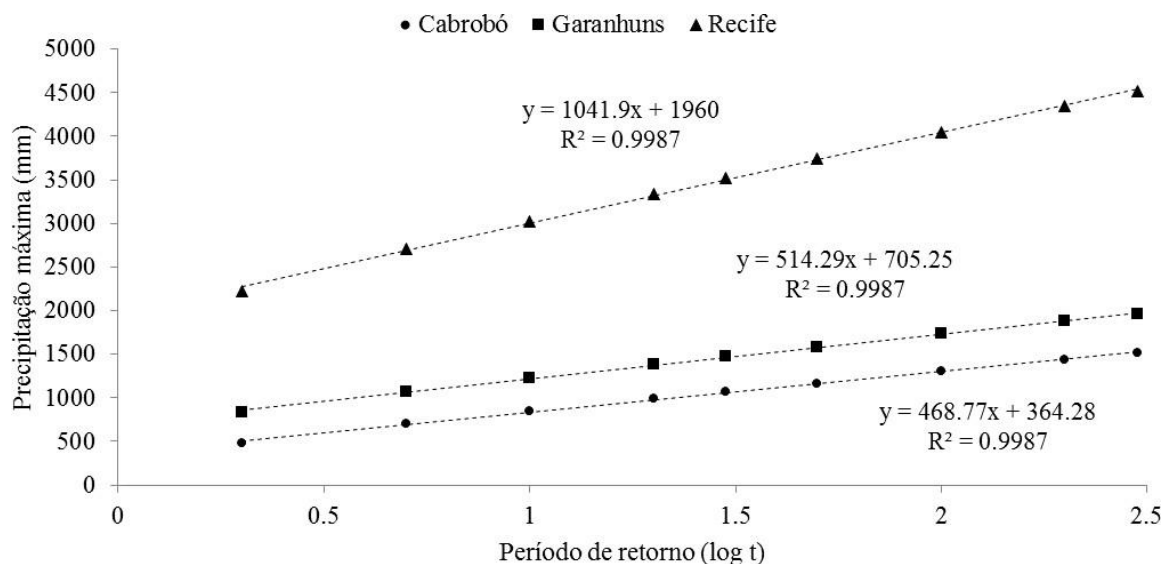
Figura 3. Distribuição de frequência das precipitações máximas anuais observadas e estimadas pelo modelo de Gumbel, para estações localizada nas diferentes mesorregiões do Estado de Pernambuco, entre os anos de 1963 e 2016.



Na Figura 4 pode ser observado o comportamento das precipitações máximas em função do período de retorno para as mesorregiões de Pernambuco. O crescimento das precipitações máximas tende a se estabilizar com o aumento do período de retorno, ajustando-se a um modelo logarítmico. Para permitir uma melhor visualização,

adotou-se a linearização dos dados. Resultados semelhantes foram obtidos em algumas pesquisas e foram aplicados como forma de planejamento hidrológico para variadas regiões (FARIAS et al., 2012; SANTOS et al., 2014; QUEIROZ e ASSUNÇÃO, 2013).

Figura 4. Precipitação máxima em função do período de retorno, para estações localizadas nas diferentes mesorregiões entre os anos de 1963 e 2016.



Com a aplicação da técnica de Quantis pode-se observar que as séries históricas estudadas possuem precipitações anuais médias $Q(0,50)$ de 524,2; 863,9 e 2296,9 mm, para

Cabrobó, Garanhuns e Recife, respectivamente. Os intervalos que foram estabelecidos para cada uma das classes extremas, indicaram que valores abaixo de 294,2;

638,4 e 1897,7 mm são classificados como anos muito seco e acima de 680,4; 1088,5 e 2685,3 mm como muito

chuvosos, para Cabrobó, Garanhuns e Recife respectivamente, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação, Probabilidade e Intervalo Médio de Precipitação (mm) das ordens quantílicas do período de 1963 a 2016, para estações localizada nas diferentes mesorregiões do Estado de Pernambuco entre os anos de 1963 e 2016.

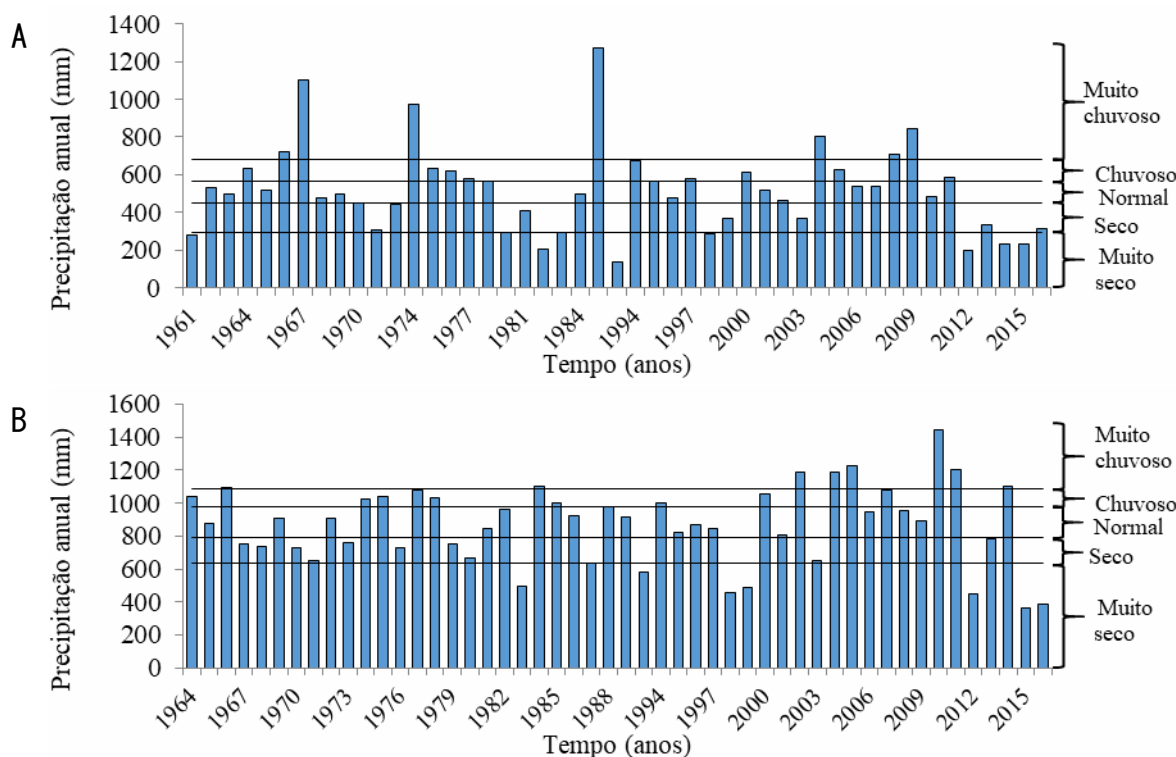
| Classificação | Probabilidade | Intervalo médio de precipitação (mm) | | | | | |
|---------------|------------------------------|--------------------------------------|-------|-----------|--------|--------|--------|
| | | Cabrobó | | Garanhuns | | Recife | |
| | | Mín | Máx | Mín | Máx | Mín | Máx |
| Muito Seco | $P < Q_{0,15}$ | - | 294.2 | - | 638.4 | - | 1897.7 |
| Seco | $Q_{0,15} \leq P < Q_{0,35}$ | 294.2 | 448.7 | 638.4 | 789.9 | 1897.7 | 2158.7 |
| Normal | $Q_{0,35} \leq P < Q_{0,65}$ | 448.7 | 563.1 | 789.9 | 974.1 | 2158.7 | 2432.5 |
| Chuvoso | $Q_{0,65} \leq P < Q_{0,85}$ | 563.1 | 680.4 | 974.1 | 1088.5 | 2432.5 | 2685.3 |
| Muito Chuvoso | $P > Q_{0,85}$ | 680.4 | - | 1088.5 | - | 2685.3 | - |

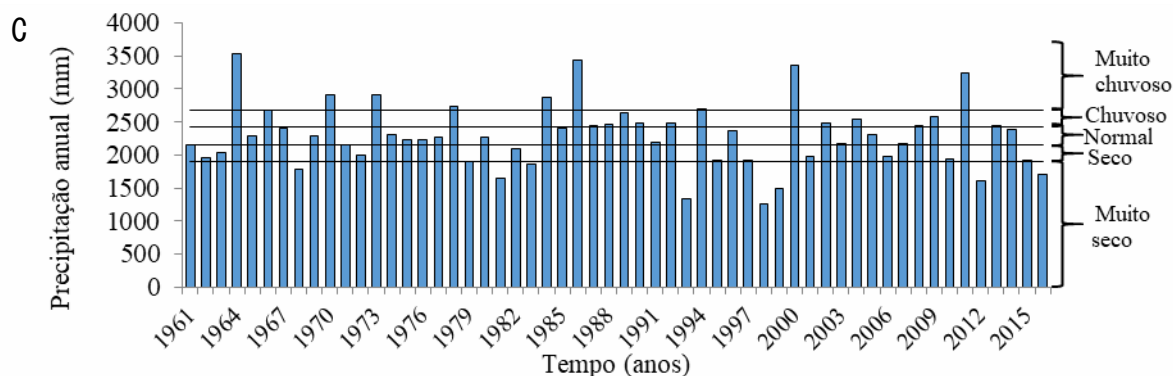
A metodologia de classificação quantílica permitiu observar a grande variação para as classes na mesorregiões de Sertão, Agreste e Litoral-Mata. Além das condições observadas com os resultados, a aplicação da metodologia de Quantis é utilizada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2017) em várias mesorregiões, inclusive para o Estado de Pernambuco, com a finalidade de classificar a precipitação para períodos de 30 dias, uma

vez que possui distintas disponibilidades hídrica para todo o território.

Com a avaliação do perfil histórico da precipitação para o período de 1961 a 2014 nas mesorregiões do Estado de Pernambuco (Figura 5), observa-se regimes pluviométricos se apresentam muito variados no período, havendo anos seguidos com o mesmo regime pluviométrico tanto para abaixo quanto acima do normal.

Figura 5. Classificação do perfil histórico da precipitação (mm) de acordo com os valores estabelecidos para cada classe quantílica (nas respectivas linhas de baixo para cima, correspondendo a muito seco; a seco; a normal; a chuvoso; a muito chuvoso) para as mesorregiões Sertão (A), Agreste (B) e Litoral-Mata (C) de Pernambuco no período de 1961 a 2016.





Analisando o BHC, através dos menores valores dos déficits, do município de Cabrobó no período de 1963 a 2016 (Figura 6A), observa-se que o período chuvoso da região concentra-se entre os meses de dezembro a abril, acumulando nestes seis meses cerca de 80% da precipitação anual total. Os meses de julho a outubro caracterizam-se por apresentar maior demanda evapotranspirativa da atmosfera, com valores superiores da média mensal.

Avaliando-se o BHC para os regimes pluviométricos encontrados para o Sertão (Figura 6), pode-se verificar que em todos há uma deficiência que se estende por todo o ano, com exceção para a classificação muito chuvosa que apresenta reposição nos meses de fevereiro e março. Ressalta-se que não há excedente em nenhum mês em nenhum dos regime pluviométrico considerados, destacando assim as condições de semiaridez da mesorregião do Sertão, para uma escala temporal mensal.

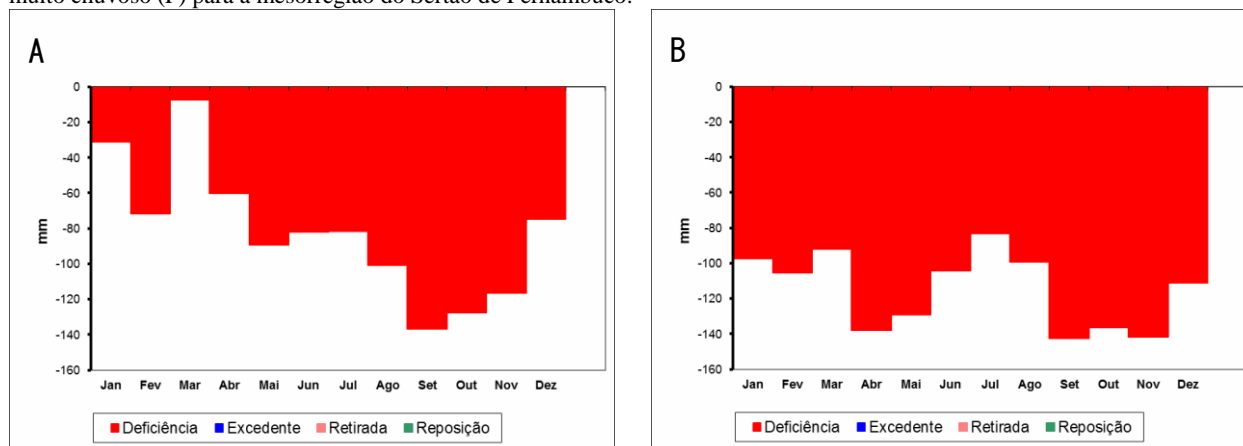
Em anos de classe quantílica normal, a deficiência hídrica ocorre com maiores quantitativos entre os meses de setembro a novembro, corroborando os dados da série histórica. No restante do ano verificam-se valores deficiência hídrica em diferentes intensidades, com média de 40 mm.

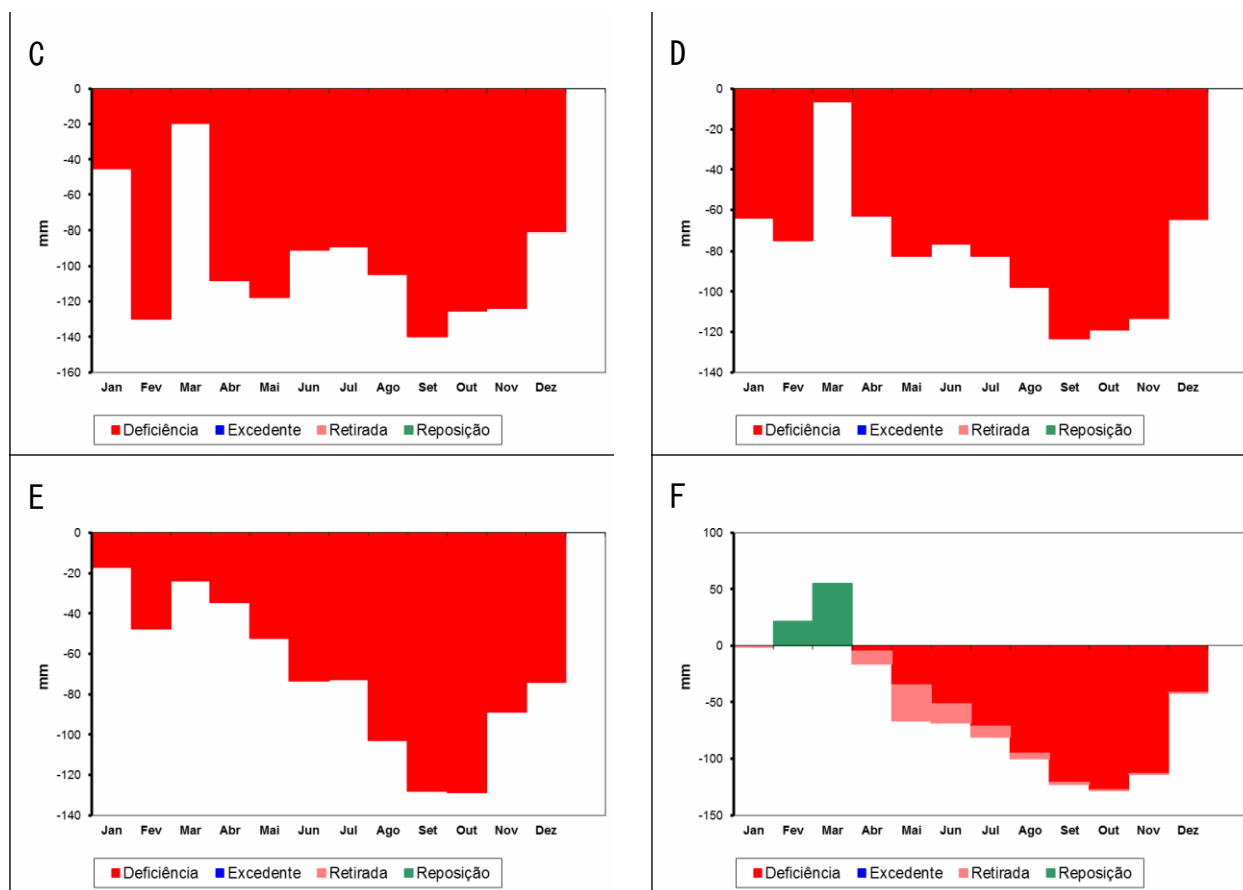
Essas observações são generalizadas para a mesorregião do Sertão, como foi observado também por Moura et al. (2007) para a região de Petrolina, que mesmo com a precipitação anual normal, média de 557,7 mm, ocorreu um déficit hídrico alto, sendo influenciado principalmente por uma elevada taxa evapotranspirativa potencial, em torno de 1.592,45 mm anuais.

De uma forma mais geral, em todos as classes há retirada de água armazenada no solo, sendo essa água repostada apenas em anos muito chuvosos.

CABROBÓ

Figura 6. Balanço hídrico para a série histórica (A) e os regimes pluviométricos muito seco (B), seco (C), normal (D), chuvoso (E) e muito chuvoso (F) para a mesorregião do Sertão de Pernambuco.





Souza et al. (2015) relataram que características climáticas podem afetar todas as etapas das atividades agrícolas, principalmente em regiões com baixa disponibilidade hídrica, tornando-se imprescindível estudos de classificações de regimes pluviométricos para o planejamento agrícola, tendo como exemplo a utilização de sistemas de irrigação, épocas de plantio, períodos de colheita, políticas de captação e armazenamento da água de chuva, dentre outros.

A observação do balanço hídrico para a mesoregião do Sertão nas classes MS e S retratam a realidade de grande parte do semiárido brasileiro nos últimos anos. Através de relatórios da ANA (2017), observa-se que as regiões semiáridas do Brasil têm enfrentado condições de baixa disponibilidade de água, até mesmo atingindo cenários de crise e colapso hídrico.

Um outro aspecto que agrava a disponibilidade hídrica para a mesoregião do semiárido é a expansão da agricultura irrigada, que, para atender à crescente demanda por alimentos, tem agravado a competição pelo uso da água entre irrigantes e outros setores da sociedade. Está além do escopo deste trabalho discutir as políticas para tal setor, porém se deve aqui salientar que a

exportação indireta de água da região semiárida através dos produtos agropecuários deve ser inserida na pauta das discussões sobre a convivência com as alterações climáticas previstas para o Sertão de Pernambuco. Elevados volumes virtuais de água são anualmente exportados anualmente, abastecendo os mercados internacionais e podendo, em breve, comprometer os recursos hídricos da região.

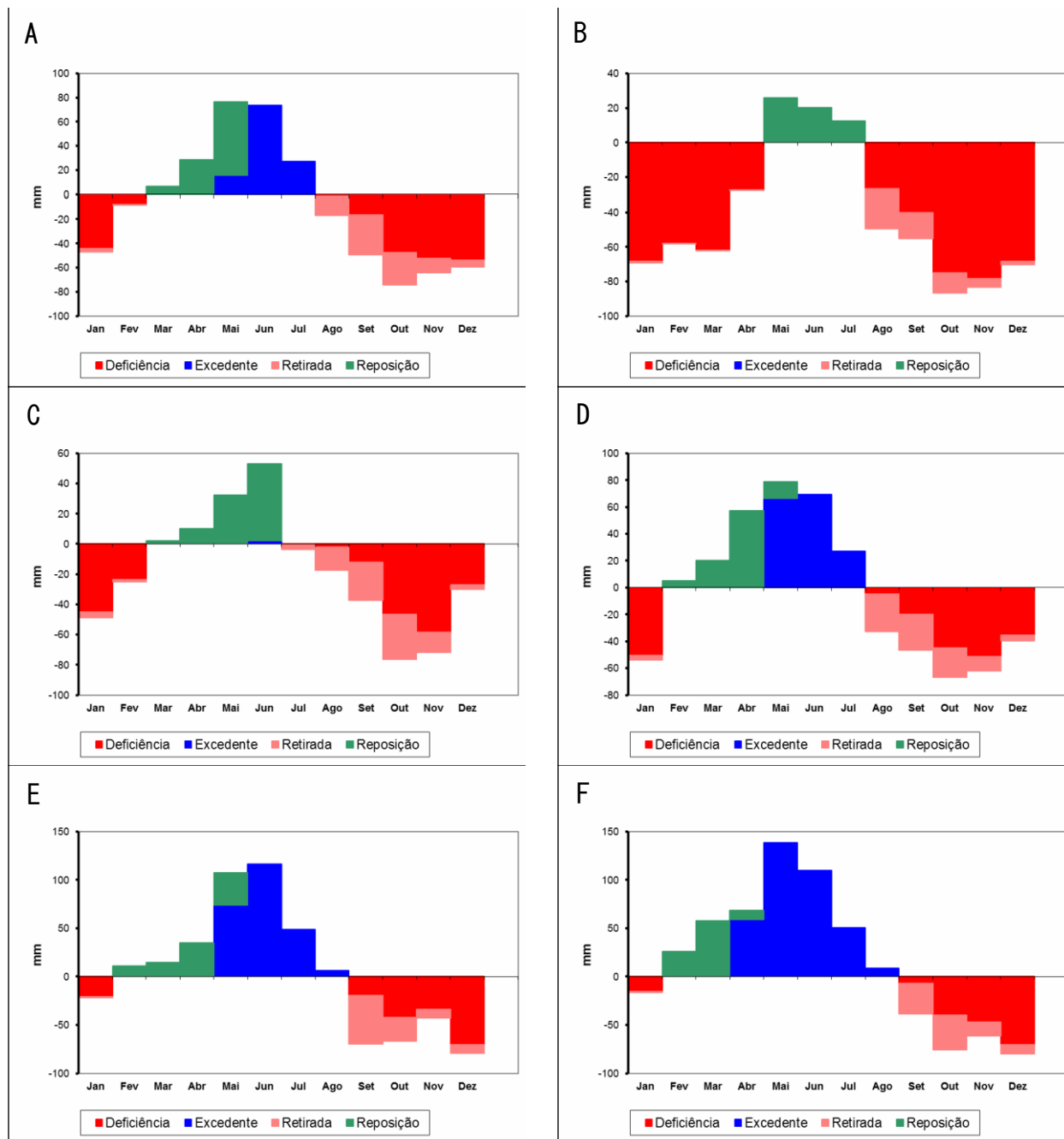
Silva et al. (2016) relataram que para os anos em que ocorre precipitação regulares, ainda que seja um quantitativo classificado como normal, deve-se adotar da irrigação para que ocorra o suprimento das necessidades hídricas das plantas, ou alternativamente adotar culturas resistentes à seca.

Na Figura 7 pode ser observado o BHC no âmbito da mesoregião do Agreste de Pernambuco. Nota-se que as classes quantílicas muito variáveis quanto observados os componentes do balanço hídrico, com 7 meses de reposição de excedente e a de menor disponibilidade com 3 meses de reposição hídrica no solo.

GARANHUNS

Figura 7. Balanço hídrico para a série histórica (A) e os regimes pluviométricos muito seco (B), seco (C), normal (D),

chuvoso (E) e muito chuvoso (F) para a mesorregião do Agreste de Pernambuco.



De uma forma geral, tanto para a mesorregião do Sertão quanto Agreste, áreas com maior deficiência hídrica, deve-se fortalecer uma gestão da água voltada para um armazenamento eficiente, seja no solo, em reservatórios naturais ou artificiais, e rever as alocações para atender à irrigação de larga escala. Oliveira et al. (2012), estudando o armazenamento de água no Nordeste, observaram que, se bem planejada, a captação de água pode ser ampliada,

incrementando a disponibilidade de água para tais regiões. Estudos devem ser realizados para melhor observar a influência dos anos com precipitação inferior à normal. Silva et al. (2016) relataram que não só a precipitação causa perdas significativas na agropecuária, mas as altas temperaturas nestas mesorregiões também podem provocar problemas para culturas perenes e anuais irrigadas, assim causando prejuízos econômicos ao

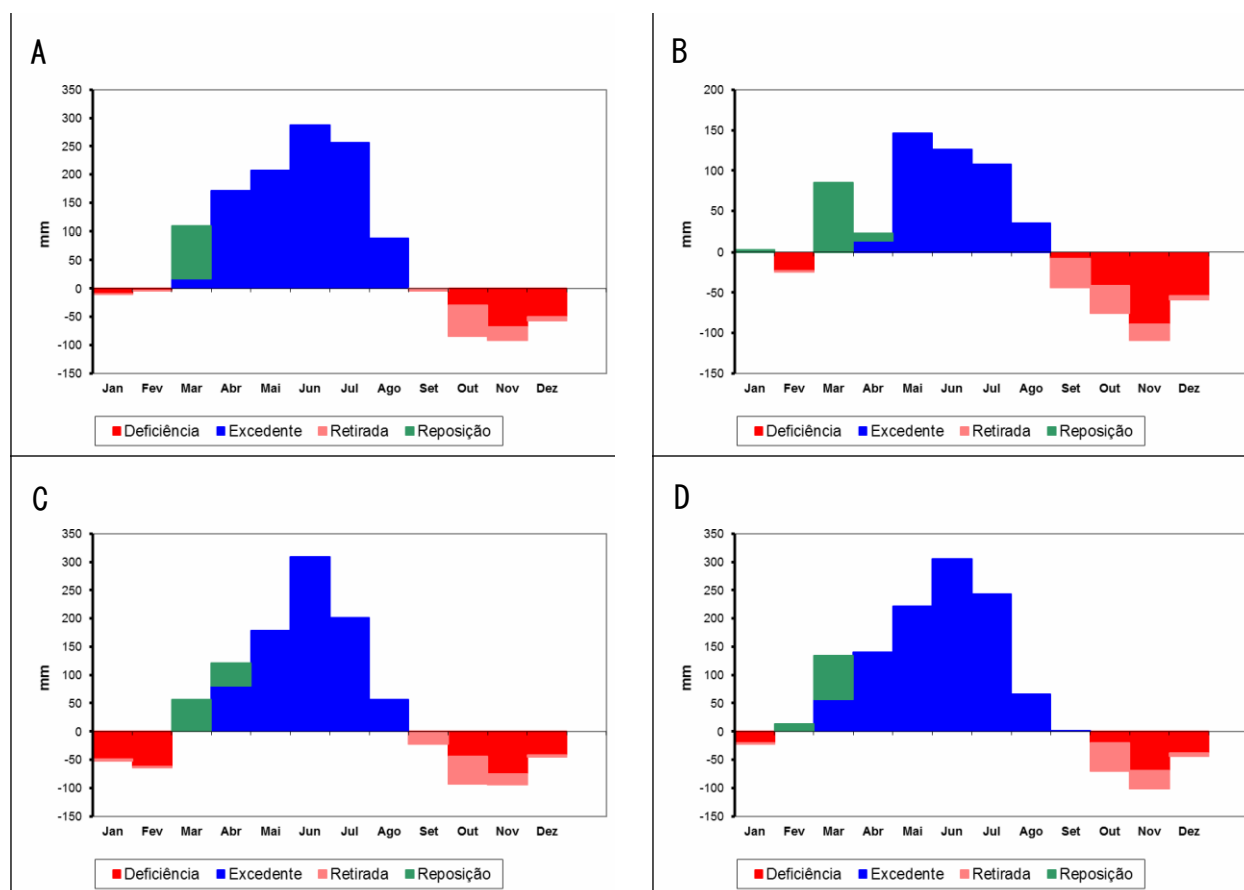
produtor. Desse modo, as análises de precipitação devem ser acompanhadas por ações extensionistas efetivas, que ampliem a adoção de práticas conservacionistas na agricultura, como a cobertura morta, capaz não apenas de incrementar os estoques hídricos no solo, como também reduzir as flutuações de temperatura do solo (MONTENEGRO et al., 2013).

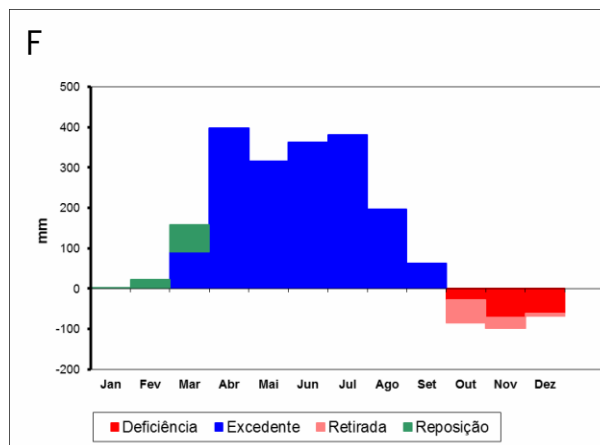
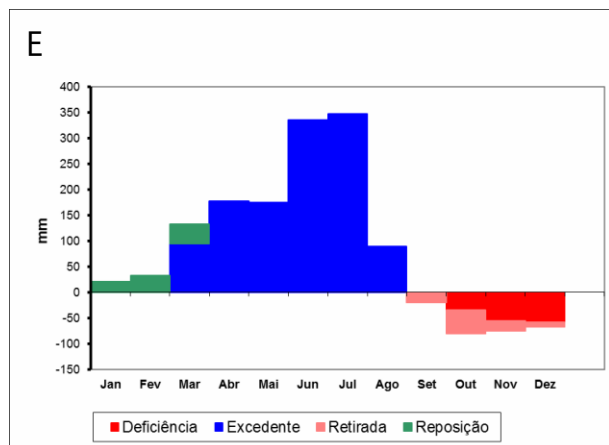
A estação localizada na mesoregião da Litoral-Mata, Recife (Figura 8), é a que possui maior disponibilidade hídrica, com vários meses de saldo positivo e com elevada quantidade de excedente. Tais resultados foram observados também por Dantas et al. (2008), os quais relatam que para a região na qual está inserido o município de Recife, existem BHC positivo durante cerca de 8 a 11 meses ao ano. Diante deste cenário, faz-se necessário ampliar ações de gestão para incremento do armazenamento, incluindo a recarga artificial de

aquíferos, conforme discutido por Silva et al. (2006). Atualmente, a maior parte desse excedente hídrico retorna ao oceano por escoamento superficial, devido à forte impermeabilização da planície do Recife, sem potencializar serviços ecossistêmicos capazes de reduzir as vulnerabilidades da região frente às alterações do clima. Esses resultados dos BHC podem complementar o estudo de Nóbrega et al. (2015), em que observaram mudanças nos padrões pluviométricos e tendências de acentuação das condições de aridez para o Estado de Pernambuco. Dessa forma, os BHC para as classes quantílicas MS e S que poderão estar mais presentes nos próximos anos irão facilitar o planejamento hidrológico e a gestão de recursos hídricos.

RECIFE

Figura 8. Balanço hídrico para a série histórica (A) e os regimes pluviométricos muito seco (B), seco (C), normal (D), chuvoso (E) e muito chuvoso (F) para a mesoregião do Sertão de Pernambuco.





A partir dos BHC avaliados, pode-se observar diferentes padrões climáticos para as mesorregiões de Pernambuco. As técnicas utilizadas neste estudo permitem a estimativa anual do balanço hídrico para as diferentes classes quantílicas, com pequena quantidade de dados de elementos meteorológicos para entrada.

Com as informações dos BHC distribuídas ao longo do Estado, torna-se possível adotar medidas preventivas de enchentes, bem como dimensionar a capacidade de armazenamento de água e amortecimento de enchentes em reservatórios na área de estudo, e incremento da recarga de aquíferos. Essa situação é mais pertinente para a mesorregião do Litoral-Mata de Pernambuco.

O método do BHC de Thornthwaite e Mather (1955) tem apresentado desempenho que permitem observar processos de caracterização em zoneamentos agroclimáticos, demanda de água para irrigação e até mesmo classificação climática. Tal fato com certeza aumenta a aplicabilidade dos resultados obtidos e a comparação com outras regiões, a exemplo entre as mesorregiões estudadas, além da perspectiva do cultivo com variadas culturas agrícolas.

Destaca-se que todos os quatro componentes do BHC representados nas figuras acima do hídrico foram contabilizados na estimativa de disponibilidade da água no solo, em unidade de milímetro. Abreu e Tonello (2015) também observaram dessa mesma forma estudando bacia hidrográfica do rio Sorocaba – SP, além de relatarem que esses quantitativos não necessariamente representam a quantidade necessária para a manutenção e equilíbrio dos ecossistemas. Um outro viés são as características qualitativas da água, as quais podem limitar o uso de acordo com finalidades.

Esses resultados de classificação climática podem complementar o estudo de Lopes e Leal (2015), que observaram redução significativa no índice de aridez (IA) para Cabrobó, em regiões que já são limitadas climaticamente e possuem uma classificação Semiárida. Para os próximos anos, que tenderão a ocorrer anos MS e S, já se pode compreender como serão os BHC e aplicação

de planejamento hidrológico.

Para a mesorregião do Agreste, Lopes e Leal (2015) também observaram que há uma tendência de redução do IA nas séries históricas e dessa forma próximos anos com maiores restrições hídricas. Da mesma forma que Cabrobó, os BHC dos anos muito secos e secos para Garanhuns podem servir de fundamento para o planejamentos hidrológicos na mesorregião.

CONCLUSÕES

O maior valor de precipitação anual registrado na região do Sertão foi de 1275,7 mm, o menor de 156,1 mm para os anos de 1985 e 1993, respectivamente. Já na região Agreste, o ano 2010 foi o ano mais chuvoso, com 1446 mm, e 2015 o ano mais seco, com apenas 362,2 mm. Na região litorânea, os anos de 2004, com 2532,7 mm, e de 1998, com 1249,7 mm, foram os que apresentaram maior e menor precipitação anual, respectivamente.

Com a aplicação da técnica de Quantis observa-se observar que as séries históricas estudadas possuem precipitações anuais médias $Q(0,50)$ de 524,2; 863,9 e 2296,9 mm, para Cabrobó, Garanhuns e Recife, respectivamente.

Com as informações dos balanço hídrico climatológico distribuídas ao longo do estado, torna-se possível adotar medidas preventivas de manutenção de umidade do solo e de manejo de água excedente no solo.

Nos BHC avaliados observar-se diferentes padrões climáticos para as mesorregiões de Pernambuco. As técnicas utilizadas neste estudo permitem a estimativa anual do balanço hídrico para as diferentes classes quantílicas, com pequena quantidade de dados de elementos meteorológicos para entrada.

Os resultados deste trabalho apontam para alternativas de gestão que podem ser adotadas nas diferentes mesorregiões do Estado para enfrentamento das mudanças climáticas, que priorizem o convívio com a escassez e redução de demandas no Sertão e Agreste, e que maximizem os serviços ecossistêmicos dos excedentes

hídricos que predominam na planície do Recife.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABREU, M. C.; TONELLO, K. C. Estimate of the water balance of the Sorocaba river watershed - SP. **Ambiência**, v. 11, p. 513-527, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2016**. Brasília, 2017. p.434.

ALMEIDA, H. A.; FREITAS, R. C.; SILVA, L. Determinação de períodos secos e chuvosos em duas microrregiões da Paraíba através da técnica dos quantis. **Revista de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 217-232, 2013.

AMORIM NETO, M. S. A. **Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955)**. Comunicado Técnico Embrapa, n. 34, p. 1-89, 1989.

ARAÚJO, L. E.; SILVA, D. F.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia do Rio Paraíba usando IAC. **Revista de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 47-59, 2007.

BARBOSA, V. V.; SOUZA, W. M.; GALVÍNCIO, J. D.; COSTA, V. S. O. Analysis of climate variability in the city of Garanhuns, Pernambuco - Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, p. 353-367, 2016.

CABRAL, J. S. P. BRAGA, R. A.P.; MONTENEGRO, S. M. G.; CAMPELLO, M. S. C.; FILHO LOPES, S. **Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba. Historia Natural, Ecologia e Conservação. Recursos Hídricos e os Brejos de Altitude**. Capítulo 4. Série Biodiversidade 9. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

CEMADEN. **Situação Atual da Seca no Semiárido brasileiro e Impactos**. São Paulo-SP. 2017. 9 p.

DANTAS, R. T.; OLIVEIRA, F. M.; LIRA, V. M.; SOUZA, W.M. Avaliação das alterações de elementos meteorológicos em Recife-PE no período de 1961 a 2000. **Sociedade & Natureza** (UFU. Online), v. 20, p. 67-74, 2008.

FARIAS, R. F. L.; ALVES, K. M. A. S.; NÓBREGA, R. S. Climatologia de ocorrência de eventos extremos de precipitação na mesoregião do Sertão Pernambucano. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p.930-941, 2012.

FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas (statistical analysis software) e planejamento de experimentos – SISVAR 5.0 (Build 67)**. Lavras:

DEX/UFLA, 2003

GUIMARAES, M. J. M.; LOPES, I. ; SILVA, W. P. ; SILVA, A. S. . Estudo das precipitações máximas para o município de Cruz das Almas/BA. **Magistra**, v. 27, p. 326-332, 2016.

GUMBEL, E.J. **Statistical of Extremes**. New York: Columbia University Press, 1958. 375 p.

IDE, A. K.; ANDRADE, M. C. K. Impactos da perenização do Riacho Terra Nova na agricultura irrigada do município de Cabrobó/PE. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade** v.10, n.6, 2017.

LOPES, I.; LEAL, B. G. Índice de aridez e tendência a desertificação para estações meteorológicas nos Estados da Bahia e Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 158, 2015.

LOPES, I.; LEAL, B. G. L. **Software para o cálculo do balanço hídrico de Thornthwaite**. Juazeiro, 2016.

MONTENEGRO, A.A.A.; ABRANTES, J.R.C.B.; LIMA, J.L.M.P.; SINGH, V.P.; SANTOS, T.E.M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v.109, p.139–149, 2013.

MORAES, M. F. **Estimativa do balanço hídrico na bacia experimental/representativa de Santa Maria/Cambiocó - Município de São José de Ubá - RJ**. Tese Doutorado (COPPE) Rio de Janeiro: UFRJ. 2007. 251p.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S. SILVA, T. G. F. **Clima e água de chuva no semiárido**. In: Potencialidades da água da chuva no semi-árido brasileiro. Petrolina: EMBRAPA, 2007.

NÓBREGA, R.S., FARIAS, R.F.L.; SANTOS, C.A. C. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, n.2, 171 - 180, 2015.

OLIVEIRA, G. C. S.; NÓBREGA, R. S.; ALMEIDA, H. A. Perfil socioambiental e estimativa do potencial para captação de água da chuva em Catolé de Casinhas, PE. **Revista de Geografia**, v. 29, p. 75-90, 2012.

QUEIROZ, A. T.; ASSUNÇÃO, W. L. Análise geostatística das precipitações na Fazenda Letreiro (Uberlândia-MG). **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, v. 4, n. 2, p. 448-476, 2013.

RAMOS, C. M. C.; SILVA, A. F.; SARTORI, A. A. C.;

- ZIMBACK, C. R. L.; BASSOI, L. H. Modelagem da variação horária da temperatura do ar em Petrolina, PE, e Botucatu, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 9, p. 959-965, 2011.
- ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.
- SANTOS, M. M.; CAETANO-CHANG, M. R.; CHANG, H.K. Análise do balanço hídrico climatológico do sistema Aquífero Guarani, em sua área de afloramentos no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 10, p. 153-170, 2012.
- SANTOS, W. O.; MESQUITA, F. O.; BATISTA, B. D. O.; BATISTA, R. O. ALVES, A. S. Precipitações máximas para o município de Mossoró de 1964 a 2011 pela distribuição de Gumbel. **Irriga**, v. 9, n.2, p.207-213, 2014.
- SILVA, A. O.MOURA, G. B. A.KLAR, A. E. Classificação climática de thornthwaite e sua aplicabilidade agroclimatológica nos diferentes regimes de precipitação em Pernambuco. **Irriga**, v.19, p. 46-60, 2014.
- SILVA, A. O.; MOURA, G. B. A.; SILVA, E. F. F.; LOPES, P. M. O; SILVA, A. P. N. Análise espaço-temporal da evapotranspiração de referência sob diferentes regimes de precipitações em Pernambuco. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n.2, p.135-142, 2011.
- SILVA, G.E.S., MONTENEGRO, S.M.G.L.; CAVALCANTI, G.L.; COSTA, L.M.; MONTENEGRO, A.A.A. Aplicação e Modelagem da Recarga Artificial com Águas Pluviais para Recuperação Potenciométrica de Aquífero Costeiro na Planície do Recife-PE, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.11, n.3, p.159-170, 2006.
- SOUZA, R. M. S.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J.R.S. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 449-455, 2015.
- THORNTHWAITE, C.W. Na approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. **Publications in climatology. Laboratory of Climatology**, New Jersey, v.8, 1955, 104p.
- WMO. Calculation of monthly and annual 30-year standard normals, WCDP No. 10, WMOTD No. 341.
- World Meteorological Organization, Geneva. 1989.
- XAVIER, T. de M. B. S. **Tempo de chuva: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste setentrional**. Fortaleza: ABC Editora, 2001. 478p.
- XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A.F.S. Classificação e Monitoração de Períodos Secos ou Chuvosos e Cálculo de Índices Pluviométricos para a Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 2, p. 7-31, 1987.