



Variabilidade Climática da Disponibilidade Hídrica na Região Semiárida do Estado do Rio Grande do Norte

Variability Climatic of Water Availability in the Semiarid of the State of Rio Grande do Norte

Darlan Martínez Schmidt¹; Kellen Carla Lima¹ & Edmir dos Santos Jesus²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas, Campus Universitário, Caixa Postal 1524, Lagoa Nova, 59078-970. Natal, RN, Brasil

²Universidade do Estado do Pará - Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Belém-PA, Brasil

E-mails: darlanmartiness@gmail.com; kellenarla@gmail.com; edmir.jesus@gmail.com

Recebido em: 22/03/2018 Aprovado em: 17/09/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_483_491

Resumo

O semiárido do estado do Rio Grande do Norte apresenta grande variabilidade climática sazonal e interanual, sendo castigado frequentemente por longos períodos de estiagens. Região que tem como bioma predominante a caatinga, reconhecida por ser bem adaptada à falta de água e altas temperaturas. Por meio do Balanço Hídrico (BH) de Thornthwaite e Mather, foi avaliada a variabilidade da disponibilidade hídrica para uma localidade da região semiárida potiguar, onde predomina o bioma caatinga. Para tal, foram utilizados os dados históricos registrados na estação Meteorológica instalada no município de Cruzeta (Rio Grande do Norte), para três períodos diferentes: (i) BH com dados de 30 anos entre 1961 e 1990 (doravante, climatologia); (ii) BH médio do período compreendido entre 2000 e 2016 (doravante, clima presente); e (iii) estimativas de cenário para possíveis mudanças climáticas, em que se adotou um aumento de temperatura média para o bioma caatinga de 2°C entre 2041-2070 e a projeção de -20% em média para a precipitação (doravante, clima futuro). Para os cálculos das estimativas do BH, foi considerada a capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm. Os resultados mostraram que no clima presente, as temperaturas foram elevadas em 0,6°C em comparação à climatologia da região. Os volumes de chuva foram em média 10% abaixo da climatologia na maior parte dos anos e consumidos integralmente pela taxa de evapotranspiração real, elevando a taxa de deficiência hídrica em 213 mm anuais. No que diz respeito ao clima futuro, com o incremento de 2°C na temperatura média até o final do século XXI, o déficit hídrico aumenta consideravelmente, chegando a ser quatro vezes maior que os volumes precipitados, colocando a região em situação cada vez mais crítica em relação à demanda e oferta hídrica. Diante dos resultados aqui apresentados, torna-se cada vez mais importante a adoção de planejamento e gerenciamento adequados dos recursos hídricos e assim mantida a oferta de água para a demanda regional.

Palavras-chave: balanço hídrico; cenário futuro; déficit hídrico

Abstract

The semiarid of state Rio Grande do Norte has great seasonal and interannual climatic variability, being frequently punished by long periods of drought. Region that has as predominant biome the caatinga, recognized for being well adapted to the lack of water and high temperatures. Through the Water Balance (WB) of Thornthwaite and Mather, we evaluated the variability of water availability to the region of potiguar semiarid region predominantly the caatinga biome. For that purpose, were used the historical data recorded at the meteorological station installed in the city of Cruzeta (Rio Grande do Norte) for three different periods: (i) WB with data of 30 years between 1961 and 1990 (henceforth, climatology); (ii) average WB for the period 2000 to 2016 (hereinafter, the present climate); and (iii) scenario estimates for possible climate changes, in which a mean temperature increase for the caatinga biome of 2 °C between 2041 - 2070 and an average forecast of -20% for rainfall (hereafter, future climate) was adopted. For calculations of the WB estimates, the Available Water Capacity (AWC) of 100 mm was considered. The results of the present climate, showed that the temperatures were elevated in 0.6 °C in comparison to the climatology of the region. The rainfall volumes were on average 10% below the climatology in most of the years and consumed integrally by the actual evapotranspiration rate, increasing the rate of water deficiency by 213 mm per year. With regard to the future climate, with the increase of 2 °C in average temperature until the end of the 21st century, the water deficit increases considerably, reaching four times higher than the precipitated volumes, placing the region in an increasingly critical situation in relation to demand and water supply. Given the results present here, it is increasingly important to adopt adequate planning and management of water resources and thus maintain the supply of water for regional demand.

Keywords: water balance; future scenario; water deficit

1 Introdução

O conhecimento do comportamento do regime hídrico, perda ou acúmulo d'água de uma superfície natural é de suma importância nos diferentes campos do conhecimento científico e do sistema sócio econômico e cultural, especialmente nas aplicações da Meteorologia e da Hidrologia às diversas atividades humanas. Para (Marengo & Soares, 2005) as alterações climáticas evidenciadas nas últimas décadas no campo de temperatura e precipitação se tornam cada vez mais concretas, ocasionadas por ciclos naturais de variabilidade do clima em diferentes escalas de tempo e espaço, como pela ação antrópica, ligadas às alterações no uso dos solos, urbanização e à emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. Segundo Marengo & Valverde (2007), o inadequado uso dos solos e a falta de planejamento urbano vêm provocando alterações climáticas locais; em escala regional a diminuição dos índices de precipitação, ocasionariam restrições de água potável para o abastecimento humano e animal, como até provocando mudanças na fauna e flora podendo levar à extinção de algumas espécies. O aumento médio da temperatura planetária levaria a uma mudança no padrão climático global conhecido atualmente, provocando a redução das chuvas nas regiões tropicais e subtropicais, e o incremento de chuvas nas regiões de latitudes elevadas, como também indica provável elevação no nível dos mares (Marengo, 2011).

Henrique & Dantas (2007) comentaram que informações quantitativas dos processos que envolvem o balanço hídrico, constituem importante fase do ciclo hidrológico, e são utilizadas na resolução de numerosos problemas que envolvem o manejo de água. Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits e excessos hídricos, elaboração de projetos e manejo de sistemas de abastecimento, bem como de irrigação e drenagem.

No Nordeste do Brasil (NEB), por apresentar intensa variabilidade temporal e espacial das chuvas (Molion & Bernardo, 2002), torna-se relevante a identificação das alterações na disponibilidade de água no solo, principalmente por estar relacionada ao comportamento do ciclo hidrológico. Para

Albuquerque et al. (2009) em se tratando de uma região bastante sensível a qualquer alteração climática, mesmo com a implantação de políticas públicas para amenizar os efeitos relacionados a longos períodos de estiagens, como também episódios de enchentes e alagamentos, geralmente ocorridos nos centros urbanos, as projeções para o futuro demonstram um cenário cada vez mais preocupante.

Um estudo realizado por Santos & Britto (2007), utilizando índices de extremos para o semiárido do Brasil e correlacionando-os com anomalias de temperatura da superfície do mar dos oceanos adjacentes, Pacífico e Atlântico, mostrou uma tendência de aumento da precipitação total anual na faixa leste dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte no período entre 1935 a 2000. Por outro lado, para a região semiárida do NEB, o cenário é de redução nos valores precipitados anualmente para o século XXI (Gaiser et al., 2003; Marengo & Bernasconi, 2015). A escassez e irregularidade das chuvas associadas as altas temperaturas, elevam o potencial evaporativo, contribuindo ainda mais com a degradação da vegetação e dos solos da região (Marengo & Bernasconi, 2015).

O sistema atmosférico mais importante provedor de precipitação sobre a região equatorial é a Zona de Convergência Tropical (ZCIT) (Molion & Bernardo, 2002). Baixas pressões, altas temperaturas da superfície do mar, intensa atividade convectiva caracterizam a ZCIT, formando uma banda de nebulosidade e chuvas no sentido Leste-Oeste (Hastenrath, 1991). Por outro lado, uma grande parte da variabilidade interanual do clima sobre a América do Sul é modulada pelo fenômeno El Niño – Oscilação Sul (ENSO) sobre o Pacífico equatorial e pelo gradiente meridional de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical (Haylock et al., 2006). A combinação das circulações atmosféricas anômalas induzidas pela distribuição espacial de TSM sobre os Oceanos Pacífico equatorial e Atlântico tropical afetam o posicionamento latitudinal da ZCIT sobre o Atlântico, assim influenciando a distribuição da precipitação sobre a bacia do Atlântico e norte do NEB.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) divulgou, em fevereiro de 2014,

o quinto Relatório de Avaliação das Mudanças no Clima do Planeta, chamado de IPCC-AR5. Com base no IPCC-AR5, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMCM, 2014), que aborda cientificamente as consequências das mudanças climáticas para o Brasil, elaborou o Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. De acordo com esse relatório, a projeção para regiões onde predomina o bioma Caatinga, é de aumento gradual de temperatura de 1,5° a 2,5°C e diminuição entre 25% e 35% nos padrões de chuva no período de 2041-2070. Segundo Leal et al. (2005) o bioma Caatinga já apresenta 15% de sua cobertura ameaçada de desertificação em decorrência do uso inadequado de solo.

Este estudo tem como objetivo compreender a variabilidade da disponibilidade hídrica, por meio do Balanço Hídrico em três situações distintas que levam em consideração: a climatologia (1961-1990), o clima do presente (2000-2016) e o clima futuro (2041-2070), da região semiárida potiguar.

O artigo está estruturado da seguinte maneira: primeiramente, são apresentadas as anomalias de precipitação e temperatura do ar observadas no presente em relação à climatologia para o município de Cruzeta (Rio Grande do Norte). Em seguida, mostra-se o balanço hídrico e o extrato do balanço hídrico para os valores climatológicos, segundo a média climatológica de 1961 a 1990, a média do clima presente (2000 a

2016) e as projeções futuras para regiões do semiárido brasileiro com predominância do bioma Caatinga.

2 Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

A área de estudo se localiza no município de Cruzeta no estado do Rio Grande do Norte (RN) (Figura 1). Município inserido no semiárido nordestino brasileiro, região central do estado do Rio Grande do Norte, na microrregião do Seridó Potiguar a 220 km da capital Natal. Cruzeta está inserido integralmente sob domínio do bioma caatinga.

Climatologicamente, o município é descrito com temperatura média anual de 26,9°C, umidade relativa média anual de 53%, precipitação anual de 704,7 mm, evaporação total anual de 2644,6 mm e velocidade média do vento de 2,5 m/s (INMET, 2009). De acordo com a classificação climática de Thornthwaite, o clima dessa região é Dda'a, com excedente hídrico baixo ou nulo devido à alta taxa de evapotranspiração. Cruzeta é um dos municípios atingidos pelas secas que castigam o semiárido brasileiro nos últimos anos, e que desde novembro de 2015 encontra-se com o abastecimento de água em colapso. Nos domínios do município de Cruzeta, nas coordenadas 6°43' de latitude sul e 36°58' de longitude oeste, na altitude de 226,46 metros está instalada a estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de código OMM: 82693, da qual se obtiveram os dados históricos para o estudo.

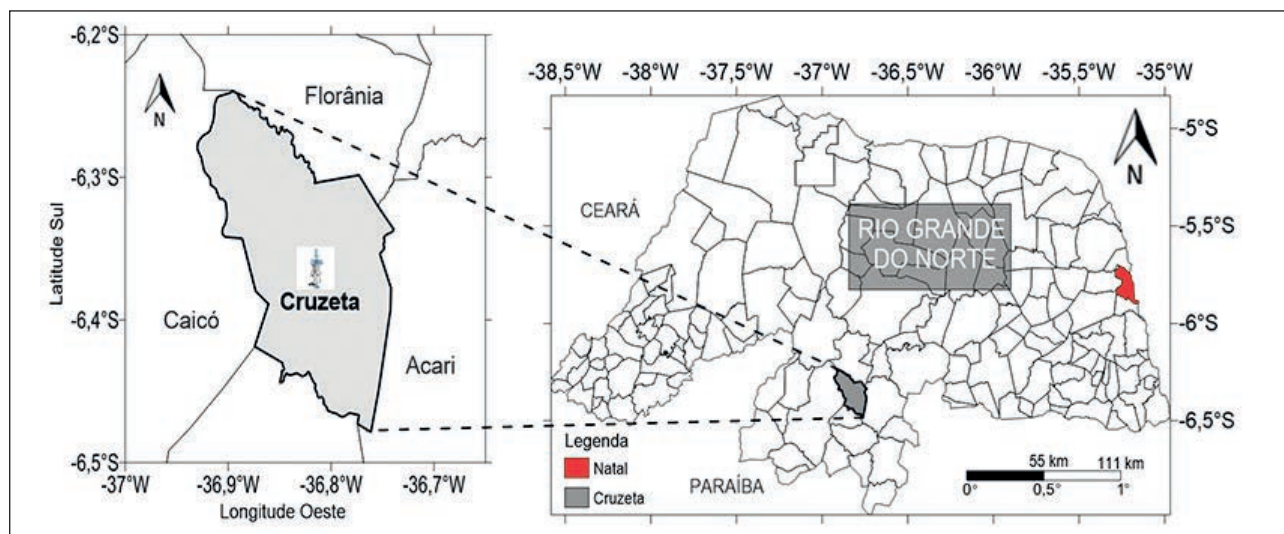


Figura 1 Localização da área de estudo e da estação meteorológica de código OMM: 82693 no município de Cruzeta (em destaque), no estado do Rio Grande do Norte.

2.2 Dados Meteorológicos

A fim de verificar a variabilidade do comportamento do regime hidrológico e a disponibilidade hídrica da localidade, foram utilizados dados mensais da temperatura média compensada (°C) e da precipitação mensal (mm), obtidos da estação meteorológica convencional de Cruzeta – RN, disponibilizada pelo INMET, referentes ao período de 2000 a 2016, período o qual se dispunha de dados confiáveis e completos. Esse período será considerado representativo do comportamento das variáveis analisadas para o clima presente.

Para a análise do BH climatológico, foram consideradas as médias mensais das mesmas variáveis para um período de 30 anos, compreendido entre 1961 a 1990, denotadas como normais climatológicas para a mesma estação meteorológica (OMM: 82693).

2.2.1 Método de Estimativa do Balanço Hídrico

O BH climatológico foi elaborado a partir do método de Thornthwaite & Mather (1955). A capacidade de água disponível (CAD) utilizada para a confecção do BH foi de 100 mm. Como resultado, o BH forneceu as estimativas médias da evapotranspiração real (E_{Tr}), deficiência (DEF), excedente (EXC), retirada (RET) e reposição hídrica (REP) para cada mês do ano.

Realizou-se o BH por intermédio do programa “BHnorm” desenvolvido por Rolim et al. (1998) para três diferentes períodos: o BH normal climatológico (1961 a 1990), o BH do clima presente (2000 a 2016) e o BH para cenário futuro de mudanças climáticas. Adotando-se o cenário apresentado pelo primeiro Relatório de Avaliação Nacional (PRN1), referente ao IPCC-AR5, que para a caatinga, bioma predominante na região semiárida do NEB, estimou uma redução média de 20% na precipitação pluviométrica e um aumento médio de temperatura de 2°C entre 2041 a 2070.

3 Resultados e Discussão

O comportamento do regime anual médio de precipitação em Cruzeta referente ao clima presente é apresentado na Figura 2A. Nessa figura se observa a

grande variabilidade das anomalias anuais em relação à média climatológica (1961 a 1990). A precipitação normal climatológica é de 704,7 mm anuais, dessa forma foi possível verificar nas anomalias que, em dez dos dezessete anos analisados a precipitação foi inferior à climatologia.

Em média, no presente os volumes mensais precipitados foram 10% abaixo da média esperada. Destacando-se a persistência de elevadas anomalias negativas de precipitação dos últimos cinco anos (2012 – 2016), assim impedindo que houvesse reposição de água ao sistema, logo ocasionando elevado estresse hídrico para a região. Dessa maneira, corroborando com os resultados de Brito et al. (2017), os quais mostraram que no período entre 2011 a 2016 ocorreu a estiagem mais severa e prolongada desde 1981; a qual ocasionou impactos significativos para os mais diversos setores socioeconômicos, o que também afetou a garantia da demanda e oferta hídrica para a dessedentação humana e animal.

Nas anomalias de temperatura do ar no período de 2000 a 2016 (clima presente – Figura 2B), verifica-se que praticamente todos os anos apresentam anomalias positivas, indicando aquecimento anual nos últimos anos em relação à média climatológica que era de 26,9°C, reconhecida como referência. Observou-se nos últimos anos anomalias mais elevadas chegando a 1,3°C acima da climatologia (1961 – 1990). Esse comportamento pode ser explicado em parte devido à região estar sob um período de anos seguidos de estiagens. Devido aos baixos volumes de chuva, pouca umidade disponível no solo e ambiente, esses valores de temperatura tendem a ser mais elevados.

A climatologia mensal da precipitação para o município de Cruzeta apresenta alta variabilidade sazonal. Segundo Schmidt (2014) o período seco acontece de agosto a novembro quando a ZCIT localiza-se em latitudes mais setentrionais e o período chuvoso ocorre de fevereiro a maio com a migração da ZCIT para sul. Em meados do verão e outono as altas temperaturas, baixas pressões e intensa atividade convectiva configuram a formação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que se posiciona mais ao sul, enfraquecendo os centros de pressão e, associada à presença dos alísios, aumenta

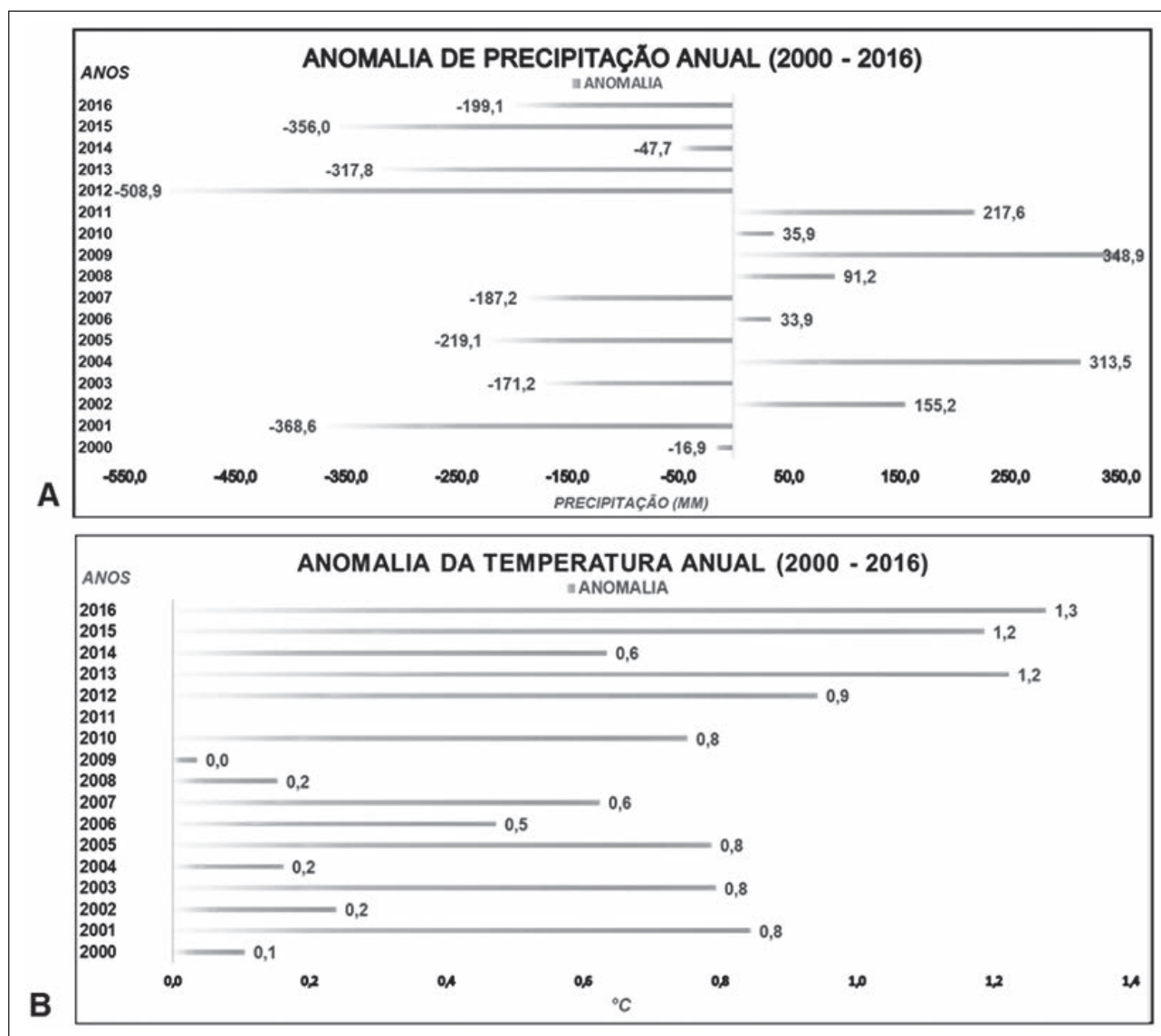


Figura 2 Anomalias anuais registradas na estação meteorológica de Cruzeta/RN no período 2000 a 2016, em A – precipitação (mm); em B – temperatura (°C).

o transporte de umidade, favorecendo a convecção e geração de precipitação no Nordeste Brasileiro - NEB (Hastenrath, 1991).

Segundo Pereira et al. (2002), a disponibilidade hídrica pode ser quantificada pelo balanço hídrico climatológico, no qual fica evidenciada a flutuação temporal de períodos com excedente e com deficiência, permitindo com isso a melhor gerência da demanda e oferta hídrica.

A sazonalidade do balanço hídrico climatológico para Cruzeta (Figura 3A) mostra o comportamento

da evapotranspiração potencial e de referência, que constituem os principais mecanismos de retirada de água do sistema solo-planta-atmosfera, com relação à precipitação, fonte fornecedora. Assim, observa-se que a curva da evapotranspiração real (ETR) para a climatologia de 1961-1990 segue o comportamento do regime das chuvas. Quando as chuvas diminuem ou cessam não existe água disponível para evaporação, principalmente por se tratar de região semiárida, com solos rasos e arenosos sem superfície vegetada com umidade disponível para ETR.

Nota-se que apenas entre maio e julho a ETR é superada pelo volume precipitado. Os volumes de chuvas foram superiores aos evapotranspirados somente nos meses de março e abril, segundo a climatologia. Por outro lado, a evapotranspiração potencial (ETP) é elevada durante o ano todo, devido às altas temperaturas persistentes. Como consequência da evapotranspiração potencial alta, resulta em déficit hídrico entre 7 e 11 meses por ano (Freitas et al., 2012).

Na média do período considerado presente compreendido entre 2000 e 2016, mostrado na Figura 3B, observa-se comportamento sazonal semelhante ao da climatologia, porém a quantidade média da precipitação foi menor. Devido aos sucessivos anos de estiagens, as médias mensais de precipitação tiveram uma redução em torno de 10% em relação à média esperada e, os totais anuais passaram de 704,7 mm (climatologia) para 634,3 mm nos últimos anos. A temperatura média nesse período foi de 27,5°C, portanto, 0,6°C acima da climatologia que era de 26,9°C para o período de 1961 a 1990.

As projeções futuras fornecidas pelos modelos IPCC AR5 para o período de 2041 a 2070, com aumento médio na temperatura em torno de 2°C e diminuição da precipitação em torno de 20% para regiões com predomínio do bioma caatinga, são apresentadas na Figura 3C. Percebe-se que, a ETR comportou-se de forma semelhante à distribuição da precipitação pluvial, pois toda a água precipitada que foi de 507 mm é consumida pela alta demanda evapotranspirativa. De acordo com Marengo et al. (2009, 2010), espera-se para o bioma Caatinga uma redução no valor total e aumento da variabilidade nos padrões de precipitação, bem como um aumento no número de dias secos e da temperatura do ar.

Para Cox et al. (1999) o aumento de temperatura induz uma maior evapotranspiração (soma da evaporação da água à superfície com a transpiração das plantas), reduzindo a umidade do solo mesmo que as chuvas não diminuam significativamente. Muito embora haja diversos níveis de incertezas, para Rammig et al. (2010) esse fator pode por si só desencadear a substituição dos biomas existentes hoje por outros mais adaptados a climas com menor disponibilidade hídrica para as plantas (por exemplo, savanas substituindo florestas, caatinga substituindo savanas, semideserto substituindo caatinga). Em termos gerais, é possível que exista uma redução de áreas cobertas por floresta tropical e um correspondente aumento de áreas cobertas com savana.

Na Figura 4A é apresentado o extrato do BH climatológico referente ao período entre 1961 a 1990, onde se observa reposição de água para o sistema em dois meses do ano, março (10,8 mm) e abril (61,7

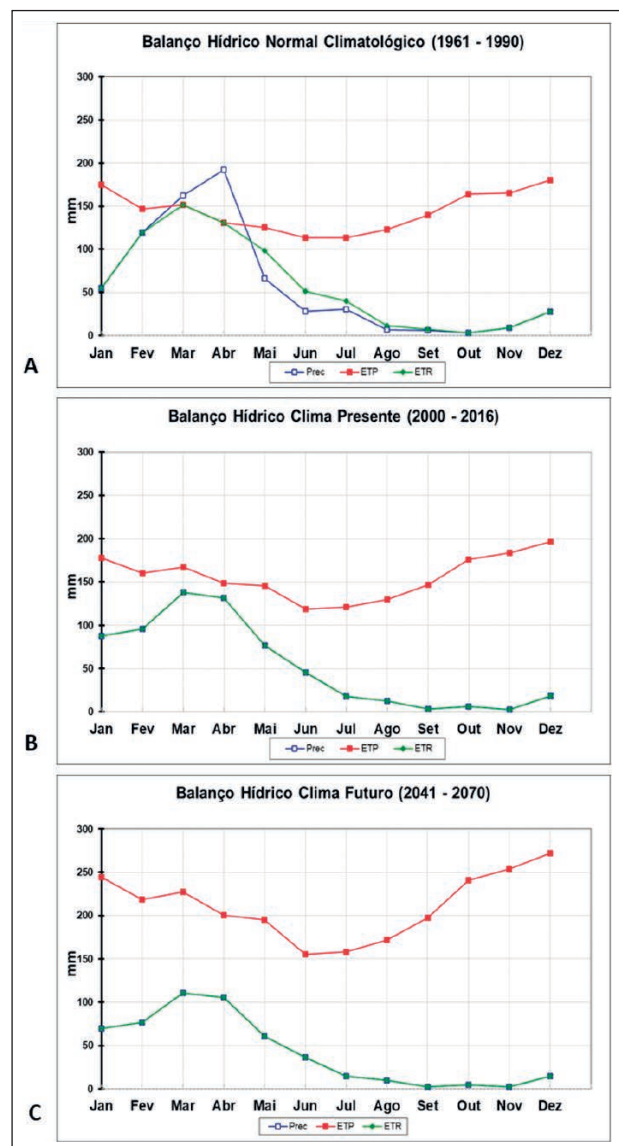


Figura 3 Balanço hídrico mensal (mm) para Cruzeta/RN, em três períodos distintos: em A - Climatologia de 1961 a 1990; em B - clima presente (2000 – 2016) e em C - clima futuro segundo a projeção do IPCC - AR5 para o período de 2041 a 2070.

mm). Essa reposição ocorreu devido aos valores de chuva ultrapassarem os índices evaporativos (ETP e ETR). Nos meses de maio, junho e julho ocorrem retiradas de 32,4; 23 e 9,7 mm respectivamente, não ultrapassando 73 mm anuais. Após esse período, com a aproximação da estação quente e a alta disponibilidade de radiação solar, a precipitação torna-se fator limitante para a evapotranspiração, o que significa elevada deficiência hídrica de maio a fevereiro totalizando 1023,2 mm anuais, não sendo observado excedente hídrico durante o ano.

No extrato do balanço hídrico para o período 2000 a 2016 (clima presente) não foi observado reposição de água para o sistema em nenhum período do ano, denotando o aumento da situação de estresse hídrico nos últimos anos e a inexistência de saldo de água disponível para retirada (Figura 4B). Novamente, não foram observados volumes excedentes nesse período. Como consequência das temperaturas mais elevadas e das chuvas abaixo da média esperada, no período presente se verificou um aumento na deficiência hídrica, chegando em média a 1236,4 mm ao ano, ou seja, em média 213 mm a mais em comparação à climatologia.

Segundo Gutiérrez et al. (2014) a seca de 2012 - 2015 é considerada a pior das décadas recentes e tem se comprovado ser a mais devastadora para os setores agrícolas e produtores industriais. Getirana (2016), utilizando dados de sensoriamento remoto, calculou os impactos das anomalias de armazenamento de água terrestre (Terrestrial Water Storage Anomalies - TWSA) para o Nordeste do Brasil. Entre abril e julho, os resultados mostraram um déficit hídrico de - 2 cm (- 32 km³) para 2012/2013, - 3,7 cm (- 58 km³) para 2013/2014, e - 4,5 cm (- 70 km³) para 2014/2015. Tal situação remete à agravante situação do sistema hídrico e a susceptibilidade do bioma caatinga em relação às variações de temperatura média do ar na região semiárida.

Analisando o extrato do balanço hídrico para o clima futuro, ilustrado na Figura 4C, as projeções indicam que a taxa de deficiência hídrica prevalecerá alta durante todo o período anual, oscilando de 95 mm em abril a 257 mm em dezembro, totalizando 2026,7 mm anuais.

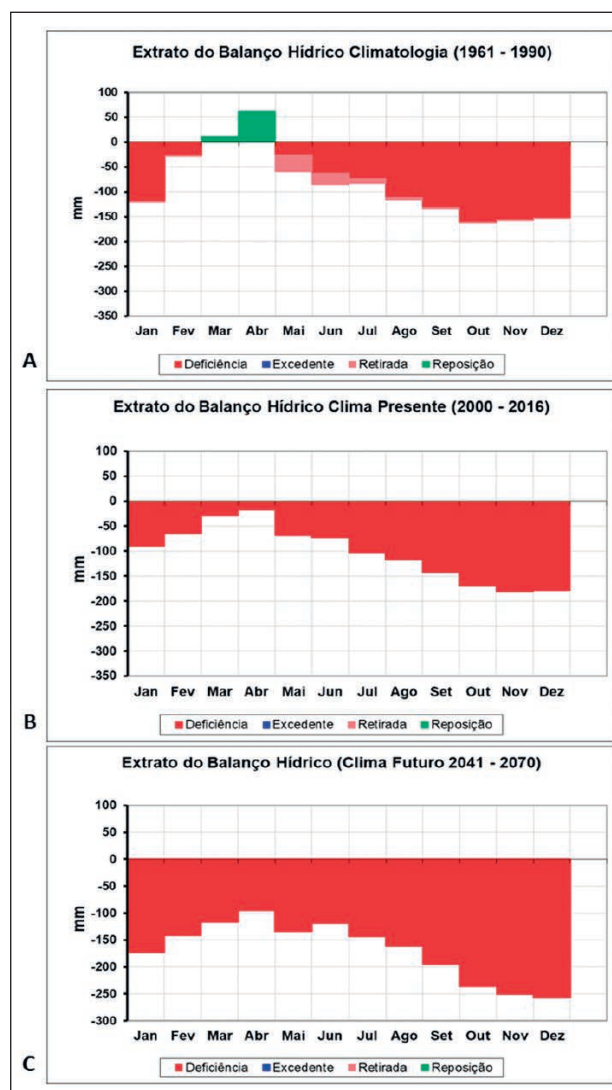


Figura 4 Extrato do balanço hídrico mensal (mm) para Cruzeta/RN, em três períodos distintos: em A - Climatologia de 1961 a 1990; em B - clima presente (2000 – 2016) e em C - clima futuro segundo a projeção do IPCC - AR5 para o período de 2041 a 2070.

Sendo assim, a deficiência hídrica poderá vir a ser 4 vezes maior que a precipitação anual acumulada até meados do século XXI. Os resultados de projeções futuras para a América do Sul Tropical segundo Nobre et al. (2004), indicam aumento na área de savanas (com o cerrado invadindo o Pará) e substituição da área de caatinga por semideserto no núcleo mais árido do Nordeste do Brasil.

Por fim, ressalta-se que o conhecimento histórico das condições climáticas é importante para efetuar o planejamento da manutenção da demanda

e oferta hídrica para o consumo nos diferentes usos. Assim, exigindo por parte dos órgãos competentes o gerenciamento dos recursos hídricos, a adoção de técnicas de gestão, que garantirão, em períodos de estiagem prolongada, que comumente assolam regiões semiáridas, o abastecimento de água por meio de sistemas de captação, armazenamento (reservatórios) e a devida distribuição por adutoras. Bem como, devido as projeções de elevação da temperatura média do ar, mecanismos que auxiliam na diminuição dos índices evaporativos diretos, diminuindo o desperdício e garantindo que os depósitos de água perdurem por períodos maiores.

4 Conclusão

Os resultados mostraram aumento gradual da temperatura média do ar, não apenas para as projeções de alterações climáticas (clima futuro), mas também no clima presente. Pôde-se comprovar por intermédio dos dados observados que no clima presente (2000 – 2016), esse aumento na temperatura já vem ocorrendo, sendo de 0,6°C em relação à temperatura climatológica para o bioma e região abordados.

Os volumes precipitados no clima presente foram 10% abaixo da climatologia, com prevalência de anomalias negativas. Destacando o período entre 2011 a 2016, em que a região semiárida foi assolada por uma das estiagens mais severa e persistente já registrada.

Em relação ao déficit hídrico para uma região de domínio do bioma caatinga, a situação se torna cada vez mais preocupante, pois temperaturas mais elevadas provocam aumento das taxas de evapotranspiração e diminuição de água nos solos. Não obstante, no período presente este déficit se mostrou bastante alto ao longo do ano, sem reposição hídrica expressiva.

Para a projeção da metade do século XXI não deverá ocorrer reposição de água ao sistema, assim a deficiência hídrica tende a se tornar extremamente alta, o que poderá causar grandes modificações ou até mesmo extinção do bioma caatinga, mesmo esse sendo bastante resistente à falta de água durante longos períodos.

5 Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande

do Norte pelo apoio institucional, ao Programa Nacional de Pós Doutorado (PNPD) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida e ao BDMEP – INMET pela base de dados meteorológicos disponibilizada.

6 Referências

- Albuquerque, I.F.; Ferreira, J.N.; Silva, M.G. & Dias, M.F. 2009. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo. *Oficina de Textos*, p. 280.
- Brito, S.S.B.; Cunha, A.P.M.A.; Cunningham, C.C.; Alvalá, R.C.; Marengo, J.A. & Carvalho, M.A. 2017. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology*, 23: 200-213. <https://doi.org/10.1002/joc.5225>
- Cox, P.R.; Betts, C.; Bunton, R.; Essery, P.R. & Rowntree, J. S. 1999: The impact of new land surface physics on the GCM simulation of climate and climate sensitivity. *Climate Dynamics*. 15: 183-203.
- Freitas, A.D.S.; Sampaio, E.V.S.B.; Silva, B.L.R.; Almeida Cortez, J.S. & Menezes, R.S.C. 2012. How much nitrogen is fixed by biological symbiosis in tropical dry forests. *Herbs. Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. OF: 1-12.
- Gaiser, T.; Krol, M.; Frischkorn, H. & Araújo, J.C. 2003. Global Change and Regional Impacts. *Springer*, Verlag, 428p.
- Getirana A. 2016. Extreme Water Deficit in Brazil Detected from Space. *J. Hydrometeorol*. 17: 591–599. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0096.1>
- Gutiérrez, A.P.A.; Engle, N.L.; De Nys, E.; Molejon, C. & Martins, E.S. 2014. Drought preparedness in Brazil. *Weather Clim. Extremes* 3: 95– 106. <http://doi:10.1016/j.wace.2013.12.001>
- Haylock, M.R.; Peterson, T.; Abreu de Sousa, J.R.; Alves, L.M.; Ambrizzi, T.; Baez, J.; Barbosa de Brito, J.L.; Barros, V.R.; Berlato, M.A.; Bidegain, M.; Coronel, G.; Corradi, V.; Grimm, A.M.; dos Anjos, R.J.; Karoly, D.; Marengo, J.A.; Marino, M.B.; Meira, P.R.; Miranda, G.C.; Molion, L.C.B.; Muncunil, D.F.; Nechet, D.; Ontaneda, G.; Quintana, J.; Ramirez, E.; Rebello, E.; Rusticucci, M.; Santos, J.L.; Varillas, I.T.; Villanueva, J.G.; Vincent, L. & Yumico, M. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall 1960–2000 and links with sea surface temperature. *J. Clim.* 19:1490–1512.
- Hastenrath, S. 1991. *Climate Dynamics of the Tropics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 488 p.
- Henrique, F.A.N. & Dantas, R.T. 2007. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(6): 594 –599.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2009. *Normas Climatológicas do Brasil*. Instituto Nacional de Meteorologia.
- Leal, I.R.; Silva, J.M.C.; Tabarelli, M. & Lacher, T.E. 2005. Changing the course of biodiversity conservation in the caatinga of northeastern Brazil. *Conservation Biology* 19: 701-706.
- Marengo, J.A.; Torres, R.R. & Alves, L.M. 2016. Drought in Northeast Brazil – past, present, and future. *Theor. Appl.*

- Climatol.* 129: 1189–1200. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- Marengo J.A. & Bernasconi, M. 2015. Regional differences in aridity/ drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climate Change*, 129: 103–115.
- Marengo, J.A.; Nobre, C.A.; Chou, S.C.; Tomasella, J.; Sampaio, G.; Alves L.M.; Obregon, G.O.; Soares, W.R.; Betts, R. & Gillin, K. 2011. Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil Análise conjunta Brasil-Reino Unidos sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia, 56p.
- Marengo, J.A.; Ambrizzi, T.; Rocha, R.P. Da.; Alves, L.M.; Cuadra, S.V.; Valverde, M.C.; Torres, R.R.; Santos, D.C. & Ferraz, S.E.T. 2010. Future change of climate in South America in the late twentyfirst century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics*, 35: 10731097. DOI: 10.1007/s0038200907216
- Marengo, J.A.; Jones, R.; Alves, L. & Valverde, M. 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *Int J Climatol.* 29(15), 2197-2352. Published online in Wiley InterScience. doi: 10.1002/joc.1863. <http://www.interscience.wiley.com>
- Marengo, J.A. & Valverde, M.C. 2007. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. *Revista Multiciência*. Campinas, 8.
- Marengo, J.A. & Soares, W.R. 2005. Impacto das mudanças climáticas no Brasil e Possíveis Cenários Climáticos: *Síntese do Terceiro Relatório do IPCC de 2001*. CPTEC-CINPE, 29p.
- Molion, L.C.B. & Bernardo, S.O. 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 17(1): 1-10.
- Nobre, C.A.; Oyama, M.D.; Oliveira, G.S.; Marengo, J.A. & Salati, E. 2004. Impacts of climate change scenarios for 2091-2100 on the biomes of South America. First CLIVAR *International Conference*, Baltimore, USA, 21-25 June.
- Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), 2014. *Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*. Organização de Ambrizzi, T & Araujo, M. Rio de Janeiro, Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Pereira, A.R.; Angelocci, L.R. & Sentelhas, P.C. 2002. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária. 478p.
- Rammig, A.; Jupp, T. & Thonicke, K. 2010. Estimativ the risk of Amazonian forest dieback. *New Phytology*, 187: 694 - 706.
- Rolim, G.S.; Sentelhas, P.C. & Barbieri, V. 1998. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, 6(1): 133-137.
- Santos, C.A.C. & Brito, J.I.B. 2007. Análise dos índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22(3): 303-312.
- Schmidt, D.M. 2014. *Brasil: Dinâmica das configurações de formação e inibição das chuvas no Rio Grande do Norte: caracterização hidroclimática do estado*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas. Natal, Tese de Doutorado, 136 p.
- Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R. 1955. The water balance. Centerton, NJ: *Drexel Institute of Technology* - Laboratory of Climatology. 104 p.