



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

LUCAS DE ASSIS MORAES

BALANÇO HÍDRICO PARA A CAATINGA NORDESTINA
EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

AREIA – PB

2018

LUCAS DE ASSIS MORAES

**BALANÇO HÍDRICO PARA A CAATINGA NORDESTINA
EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal da Paraíba como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Prof. Dr. Robson de Sousa Nascimento
Orientador

**AREIA – PB
2018**

M827b Moraes, Lucas de Assis.

BALANÇO HÍDRICO NA CAATINGA NORDESTINA
EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS / Lucas de
Assis Moraes. - Areia, 2018.

35 f. : il.

Orientação: Robson de Sousa Nascimento.

Monografia (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Evapotranspiração, excedente, déficit. I. Nascimento,
Robson de Sousa. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

LUCAS DE ASSIS MORAES

**BALANÇO HÍDRICO PARA A CAATINGA NORDESTINA
EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal da Paraíba como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Robson de Sousa Nascimento (Orientador)

DSER/CCA/UFPB

Profa. Dr^a. Valéria Peixoto Borges - Examinadora

DSER/CCA/UFPB

Prof. Dr. Davi de Carvalho Diniz Melo - Examinador

DSER/CCA/UFPB

AGRADECIMENTOS

Ao meu estimado orientador, professor Dr. **Robson de Sousa Nascimento** pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação, pela dedicação, pela grande paciência que teve ao longo desses dois últimos semestres que trabalhamos devido ao trabalho de conclusão.

Ao meu pai **Luciano Oliveira**, pela companhia e parceria, pela grande contribuição no meu caráter e integridade como pessoa. À minha amiga e mãe **Roselene de Assis**, que sempre foi e sempre será uma eterna incentivadora da educação na minha vida pessoal e profissional. Aos meus irmãos e “portos seguros” **Thiago Moraes e Emily Souza**, que contribuíram significativamente para minha trajetória, com momentos de alegria, carinho e união.

À minha avó **Maritília** (*in memoriam*) por sempre ter me dado apoio e incentivo aos estudos em toda minha infância e parte da adolescência. Aos meus tios e tias **Jonilson, Josemar, Lucineide, Maria do Céu, Eliana, Tatiana, Lucinaldo**, pela compreensão por minha ausência nas reuniões familiares e pelas boas conversas e conselhos, e à minha amiga, incentivadora e futura engenheira civil **Lannyha**, pela imensa solidariedade e carinho, assim como aos meus primos pelos momentos de lazer e alegria.

À todos os professores e técnicos de laboratório pelos quais tive passagem nesses cinco anos de curso no CCA, em especial, **prof^a Rejane, Kalline, prof^a Riselane, prof^a Valéria**, (contribuindo significativamente para minha formação no período de monitoria), que contribuíram ao longo desses semestres, por meio das disciplinas e debates, para o meu desenvolvimento como pessoa.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio, especialmente a **Islaumax, Lucilo, Wesley, José Manoel, Alícia, Laysa** e ao grande colega de turma e de moradia **Diogo (Superman)** pela boa convivência e troca de experiências. Agradecer também a alguns colegas e amigos que participaram direta e indiretamente nessa fase durante a graduação: **Sílvio, Walber, Lucas (Xaropinho), Jardel, Juanderson, Vinícius (baiano), Josias, Haile, Igor Revelles (Iguete), Maciel, Marquinhos, Barroso, João Paulo (alagoano), Samuel Inocêncio**, participando de forma muito importante na interpretação de trabalhos científicos e nos momentos de lazer também.

Aos funcionários da UFPB, **Assis, Ronaldo, Cândido (“Candinho”), Bezerra, Nau, Solon** e outros que não recordo o nome, pela descontração, presteza e atendimento quando nos foi necessário.

Muito obrigado!

MORAES, Lucas de Assis. **Balço hídrico para a caatinga nordestina em cenários de mudanças climática**. Areia – PB, p. 35. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba.

RESUMO

O balanço hídrico climatológico é um dos métodos mais utilizados para estimativa de déficit e do excedente hídrico, além da evapotranspiração potencial. O bioma em estudo foi a Caatinga e em meses secos, a evaporação se torna elevada e provoca estresse hídrico nas espécies vegetais. Com isso, objetivou-se estimar o balanço hídrico (BH) para o bioma Caatinga em cenários otimista e pessimista de mudanças climáticas, avaliando as variações deste balanço, determinando a evapotranspiração potencial (ETP), déficit hídrico (DEF) e excedente hídrico (EXC), comparando a distribuição espacial entre a normal climatológica e os cenários. Foram coletados dados mensais de temperatura média e precipitação de 42 localidades, num período de janeiro de 1961 a dezembro de 2015. Os cenários utilizados foram baseados no quinto relatório do IPCC, em que define o cenário otimista RCP4.5 (aumento na temperatura de 1,4 °C e redução de 15 % na precipitação) e o cenário pessimista RCP8.5 (aumento na temperatura de 4,0 °C e redução na precipitação de 20 %). Considerou-se o valor de 50 mm para a capacidade de água disponível no solo. Após o cálculo do BH, foi realizada a distribuição espacial dos valores de ETP, EXC e DEF para o período normal e de cenários otimista e pessimista. Os resultados mostraram que a evapotranspiração no cenário otimista aumenta sem disparidade em relação ao período normal. No cenário pessimista, a evapotranspiração elevou muito comparado ao período normal. Quanto ao excedente hídrico no cenário otimista, os valores diminuem comparados ao período normal. Para o cenário pessimista, os valores chegam a reduzir duas, três ou até quatro vezes os valores encontrados no período normal. Para o déficit hídrico, o cenário otimista aumentou expressivamente seus valores, enquanto que no cenário pessimista os valores se elevam duas a três vezes mais, comparados ao período normal. Com isso, o balanço hídrico para o bioma Caatinga sofre alterações tanto no cenário otimista quanto pessimista considerando uma projeção até o final do século XXI.

Palavras-Chave: Evapotranspiração, Excedente hídrico, Déficit hídrico

ABSTRACT

Climatological water balance is one of the most used methods for estimating deficit and water surplus, in addition to potential evapotranspiration. The biome under study was the Caatinga and in dry months, evaporation becomes high and causes water stress in the plant species. The objective of this study was to estimate the water balance (BH) for the Caatinga biome in optimistic and pessimistic scenarios of climatic changes, evaluating the variations of this balance, determining the potential evapotranspiration (ETP), water deficit (DEF) and water surplus (EXC), comparing the spatial distribution between the climatological normal and the scenarios. Monthly data of mean temperature and precipitation of 42 localities were collected from January 1961 to December 2015. The scenarios used were based on the IPCC's fifth report, which defines the optimistic scenario RCP4.5 (increase in temperature of 1,4°C and reduction of 15% in precipitation) and pessimistic scenario RCP8.5 (increase in temperature of 4,0°C and reduction in precipitation of 20%). The value of 50 mm for the available water capacity in the soil was considered. After the BH calculation, the spatial distribution of the ETP, EXC and DEF values for the normal period and the optimistic and pessimistic scenarios were performed. After the BH calculation, the spatial distribution of the ETP, EXC and DEF values for the normal period and the optimistic and pessimistic scenarios were performed. The results showed that the evapotranspiration in the optimistic scenario increases without disparity in relation to the normal period. In the pessimistic scenario, the evapotranspiration increased a lot compared to the normal period. As for the water surplus in the optimistic scenario, the values decrease compared to the normal period. For the pessimistic scenario, the values come to reduce two, three or even four times the values found in the normal period. For the water deficit, the optimistic scenario significantly increased its values, while in the pessimistic scenario the values rose two to three times more, compared to the normal period. With this, the water balance for the Caatinga biome undergoes alterations both in the optimistic and pessimistic scenario considering a projection until the end of the 21st century.

Keywords: Evapotranspiration, Water surplus, Water deficit

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição espacial das estações convencionais.....	20
Figura 2. Evapotranspiração potencial: A) Normal e B) Otimista	23
Figura 3. Excedente hídrico: A) Normal e B) Otimista.....	25
Figura 4. Déficit hídrico: A) Normal e B) Otimista	26
Figura 5. Evapotranspiração potencial: A) Normal e B) Pessimista.....	27
Figura 6. Excedente hídrico: A) Normal e B) Pessimista.....	28
Figura 7. Deficit hídrico: A) Normal e B) Pessimista.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estações automáticas da caatinga nordestina, conforme estações das cidades, estado, longitude e latitude.....	20
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Geral	13
2.2 Específicos.....	13
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1 Mudanças climáticas.....	14
3.2 Cenários de mudanças climáticas	15
3.3 Semiárido brasileiro.....	16
3.3.1 Caracterização climática do Semiárido	17
3.3.2 Caracterização edáfica do semiárido.....	18
3.4 Balanço hídrico.....	18
4. METODOLOGIA.....	19
4.1 Área de estudo	19
4.2 Coleta e processamento de dados	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1. Cenário otimista.....	23
5.2. Cenário pessimista.....	27
6. CONCLUSÃO.....	30
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1. INTRODUÇÃO

Alterações observadas no planeta Terra como aumento da temperatura do ar, derretimento das calotas polares, aumento do nível do mar gerando ameaças à infraestrutura das cidades, diminuição na produtividade das lavouras estão relacionadas ao aquecimento global e às mudanças climáticas (NEVES, 2015).

O planeta Terra detém de uma vasta extensão territorial de água, superfície essa de cerca de 510 milhões de Km², onde dois terços são formados por água, aproximadamente 360 milhões de Km², entretanto, 98% dessa água está localizada em oceanos, ou seja, água salgada. A variabilidade sazonal e espacial do tempo acompanhada de mudanças climáticas atingem todo o planeta, alterando os recursos hídricos e mudando as características físico-químicas dos ecossistemas. Assis et al. (2015) afirmam que a escassez hídrica tem sido intensificada pelas mudanças climáticas, com destaque para o semiárido do Nordeste do Brasil, uma vez que apresenta uma grande tendência à aridização.

O Brasil possui 12% das reservas de água doce disponíveis no planeta (BRASIL, 2017). Em detrimento dessa afirmativa, nos últimos anos diversas regiões do país tem sofrido com a escassez hídrica. O ciclo anual das chuvas e de vazões no país varia entre bacias, e de fato a variabilidade interanual do clima, associada aos fenômenos de El Niño, La Niña, ou à variabilidade na temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical e Sul podem gerar anomalias climáticas. O início de época chuvosa com atraso ocasiona grandes prejuízos ao setor agrícola, diminuindo produtividade das culturas e até mesmo grande parte da produção. Para isso, deve-se encontrar meios que minimizem os efeitos das mudanças climáticas, estabelecendo medidas conservacionistas e adotando soluções ecologicamente benéficas com o objetivo de minimizar perdas agrícolas e hídricas (MARENGO, 2008).

O uso da água depende de sua disponibilidade onde, em regiões semiáridas apresenta uma variabilidade tanto em escala temporal quanto espacial, como é o caso de pequenas bacias hidrográficas. A disponibilidade de água pode não ser abundante, dependendo dos usos múltiplos em seu território (SOARES; CAMPOS, 2013).

A necessidade de gerir conflitos para o uso da água e definir preferências para uso incorpora atores da sociedade civil nas instituições, mas a exclusão do acesso a esse recurso deve ser uma questão observada para muitas pessoas em muitas sociedades.

Assim deve-se analisar a governança da água, abordando não apenas a gestão dela mas também a possibilidade de uso dos recursos naturais que tenham relação com a sustentabilidade no âmbito social. E para que essa governança possa dar certo é preciso criar condições: inclusão, participação, transparência, previsibilidade e capacidade de resposta (JACOBI; EMPINOTTI; SCHMIDT, 2016).

Em um ecossistema, o balanço hídrico climatológico (BHC), descrito por Thornthwaite e Mather (1955), pode ser contabilizado pela entrada e saída de água num volume de solo que envolva o sistema radicular da cultura durante um espaço de tempo (SOUZA et al., 2015). O BHC tem como elementos de saída as informações sobre evapotranspiração real (ETR), excedente hídrico (EXC), déficit hídrico (DEF) e disponibilidade hídrica (ER/ETP).

O balanço hídrico climatológico é um dos métodos mais usados para estimativa de déficit e do excedente hídrico, da reposição e da retirada de água no solo e da quantidade de água armazenada no mesmo (CARVALHO et al., 2011). Sendo assim, deve-se levar em consideração a capacidade de água disponível no solo para calcular a evapotranspiração potencial (ETP), sendo estimada pelo método de Thornthwaite (1948), contabilizando o que sobra e o que se perde pra atmosfera no ciclo hidrológico, ou seja, o balanço hídrico.

Estudos foram realizados em regiões semiáridas através do balanço hídrico climatológico. Souza et al. (2015) avaliou a distribuição anual e interanual do município de Serra Talhada semiárido do Pernambuco, bem como a interação da variação do armazenamento de água, precipitação pluvial, escoamento superficial, evapotranspiração potencial e fluxo total de água no solo. Santos e Aquino (2016) analisaram componentes do balanço hídrico como precipitação, evapotranspiração potencial, evapotranspiração total real, índice efetivo de umidade (IM), índice de aridez (IA) e número de meses secos (MS), assim como a elaboração de mapas referentes aos componentes.

A região semiárida do Brasil, situada no Nordeste, é considerada uma das mais suscetíveis devido a irregularidade de chuvas, deficiência hídrica e índices extremos como a maior insolação, menor nebulosidade, altas médias de temperatura e altas taxas de evaporação e sobretudo, os menores índices pluviométricos (MARENGO, 2008; OLIVEIRA et al., 2006). Essa região apresenta vulnerabilidade, também, a menores índices de desenvolvimento social e econômico, com grande parte da população que trabalha com atividades agrícolas envolvida na agricultura de sequeiro, caracterizada

pelo baixo nível tecnológico e elevada dependência de disponibilidade dos recursos naturais (ANGELOTTI; SIGNOR; GIONGO, 2015), que é a tecnologia mais acessível para agricultura familiar no momento, na maioria dos sistemas produtivos.

O bioma que abrange toda essa região semiárida nordestina é a Caatinga, extremamente dependente da precipitação para manutenção de sua fauna e flora. Ocupa cerca de 11% do território nacional (SANTOS et al., 2012) e contém um enorme potencial para conservação de serviços ambientais, uso sustentável e bioprospecção. Em meses secos, a evaporação potencial se torna elevada e provoca estresse hídrico nas espécies vegetais, o que pode acarretar em mudanças nos padrões atmosféricos de larga escala, além da intensa interferência antrópica na região (SOUZA et al., 2015; MENDES, 2015).

Diante do exposto observa-se a necessidade de pesquisas sobre a quantificação de evapotranspiração, déficit ou excedente hídrico em regiões semiáridas. Assim como suas características necessidades hídricas para sobrevivência e manutenção dos ecossistemas, objetivou-se estimar o balanço hídrico para o bioma Caatinga em cenários otimista e pessimista de mudanças climáticas, visando avaliar o comportamento deste balanço, determinar a ETP, DEF, EXC e comparar a distribuição espacial entre a normal climatológica e os cenários.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

- Objetivou-se estimar o balanço hídrico para o bioma Caatinga em cenários otimista e pessimista de mudanças climáticas.

2.2 Específicos

- Avaliar o variação do balanço hídrico.
- Determinar a evapotranspiração potencial (ETP), excedente (EXC) e déficit hídrico (DEF)
- Comparar a distribuição espacial entre a normal climatológica e os cenários.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Mudanças climáticas

As mudanças climáticas estão promovendo grandes transformações de natureza física, química, ambiental e social no planeta Terra desde o início do século XXI. As alterações do clima decorrentes do acúmulo de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, onde se destaca o gás carbônico, representam desafios, principalmente, pela forma, abrangência e velocidade com que estão acontecendo e suas consequências para a vida no planeta (LACERDA; NOBRE; SOBRAL; LOPES, 2016). Recursos hídricos nas mais variadas regiões do globo sofrem perturbações devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico, sendo assim, prevê-se que a mudança climática leve o mundo a uma nova fase de estresse hídrico e incerteza (WANG et al., 2016).

Devido ao clima e o ciclo hidrológico, os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos é um dos importantes desafios que o nosso planeta enfrenta no século XXI (MEARNSE; NORTON, 2010; ONU, 2011); especialmente em regiões semiáridas e muito áridas do mundo, onde a escassez desses recursos, aumento da população e a experiência com secas recentes leve à fome, perda da atividade pecuária, quebra de safra, migrações e morte (MISHRA; SINGH, 2010; SHI et al., 2011; KHARRAZ et al., 2012).

Os efeitos das mudanças climáticas poderão apresentar variabilidade entre as diferentes regiões do planeta e setores econômicos (CUNHA et al., 2013). Grandes alterações na concentração de CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (gás metano), N₂O (óxido nitroso), O₃ (ozônio), aerossóis e nuvens, entre outras alterações. Outras modificações antrópicas relatadas são o manejo do solo, pelo desenvolvimento da agricultura e das atividades humanas, e o albedo da superfície terrestre. Essas informações são ações que alteram o balanço radiativo de nosso planeta. O aumento do nível do mar, derretimento de geleiras, perda de gelo no Oceano Ártico, alterações biológicas em migrações de espécies, a acidificação dos oceanos, ciclos biogeoquímicos de nitrogênio e fósforo desregulados, mudança na integridade da biosfera associadas à biodiversidade, uso dos recursos hídricos, partículas de aerossóis na atmosfera. (ARTAXO, 2014). Ou seja, todos esses fatores afetam diretamente a ‘homeostase’ do ciclo hidrológico, causando sérios fenômenos climáticos.

3.2 Cenários de mudanças climáticas

Em 1988, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) estabeleceram o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas). Sua tarefa foi a de apoiar, por meio de trabalhos científicos as avaliações do clima e os cenários de mudanças climáticas para o futuro. O IPCC foi criado para fornecer informações técnicas e científicas sobre as mudanças climáticas, estudar e divulgar possíveis riscos para a humanidade e criar medidas e estratégias para mitigação e adaptação dos efeitos das mudanças climáticas.

Alterações da concentração de gás carbônico são atribuídas ao uso de combustíveis fósseis, já as concentrações de gás metano e óxido nitroso são provenientes das atividades agropecuárias. Em seu quinto relatório, o IPCC (2014) divulgou um grande alerta para o mundo mostrando que as projeções caminham para um aumento médio global das temperaturas entre 1,8°C e 5,0°C até 2100; aumento esse que pode ser ainda maior (6,4°C) se a população e a economia continuarem crescendo rapidamente e se for mantido o consumo intenso dos combustíveis fósseis (AVILA, 2007).

Para o bioma Caatinga, nas próximas três décadas (até 2040) pode ocorrer um aumento de 0,5°C a 1°C e diminuição de 10 a 20% nas chuvas. No período de 2041-2070, pode apresentar elevação gradual de temperatura para 1,5°C a 2,5°C e decréscimo entre 25 e 35% nos padrões de chuva. No final do século (2071-2100) as projeções indicam condições significativamente mais quentes (aumento de temperatura entre 3,5° e 4,5°C) e agravamento do déficit hídrico regional com diminuição de praticamente metade (40 a 50%) da distribuição de chuva (PBMC, 2014).

Estudos compilados e analisados por Marengo e Valverde (2007b), relatam variabilidade climática a longo prazo no Brasil. Foi observado que variações em chuvas e vazões de rios na Amazônia e no Nordeste apresentam uma variabilidade interanual e em escalas de tempo interdecadal. A variabilidade está associada a padrões de variação da mesma escala de tempo nos oceanos Pacífico e Atlântico, como a variabilidade interanual associada ao *El Niño* Oscilação Sul, ENOS, ou à variabilidade decadal do

Pacífico (PDO - Pacific Decadal Oscillation), do Atlântico (NAO - North Atlantic Oscillation) e à variabilidade do Atlântico Tropical e do Atlântico Sul.

Analisando as projeções em relação à precipitação, verifica-se anomalias de chuva ao longo dos próximos 100 anos para regiões como Nordeste, Amazônia e Bacia da Prata (MARENGO; VALVERDE, 2007c). As projeções de aumento da temperatura média no ar à superfície para o Brasil indicam que os valores podem chegar até 4 °C acima da média climatológica (1961-90) para 2100, dependendo no cenário de emissão de gases de efeito estufa e dos modelos climáticos globais dos IPCC TAR. Estudos utilizando simulações do balanço hídrico para as regiões do Brasil, considerando as projeções de temperatura e chuva dos cenários futuros de clima gerados pelo projeto, estima-se uma tendência de extensão da deficiência hídrica por praticamente todo o ano para o Nordeste, a qual, no presente, acontece durante os meses de estiagem, isto é, tendência a “aridização” da região semiárida até final do Século XXI.

3.3 Semiárido brasileiro

A definição técnica de Semiárido foi estabelecida a partir de uma norma da Constituição Brasileira de 1988, Artigo 159, instituindo o Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE).

Segundo o Instituto Nacional do Semiárido (2013), o Semiárido abrange 1.135 municípios com uma área de 980.133 km², corresponde a quase 90% da Região Nordeste (nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia); e mais a região norte de Minas Gerais. Cerca de 27 milhões de pessoas vivem na região, a maioria carente e dependente dos recursos do bioma para sobreviver (ICMBio, 2011). Rico em biodiversidade, o bioma abriga 178 espécies de mamíferos, 591 de aves, 177 de répteis, 79 espécies de anfíbios, 241 de peixes e 221 abelhas (MMA, 2018).

O Semiárido Brasileiro, atualmente, é composto por 1.262 municípios, dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. Em novembro de 2017, foi aprovada na XXI Reunião do Conselho Deliberativo da Sudene (Condel) alterações na lista de municípios que compõem a região do Semiárido. Mais de 73 cidades da área de atuação da Sudene

foram incorporadas e a decisão foi tomada a partir de critérios escolhidos como o déficit hídrico igual ou superior a 60%, precipitação pluviométrica média anual ou inferior a 800 mm e índice de aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 (SUDENE, 2017).

A população residente nessa área - cerca de 22 milhões de habitantes e densidade populacional de até 20 habitantes/km² - apresenta alta dependência da Caatinga para sua subsistência, cujo resultado é a grande variabilidade social, econômica e ambiental. Essa dependência leva à pressão crescente sobre os recursos naturais da região e, conseqüentemente, tornando-a extremamente suscetível aos processos de desertificação (PEREZ-MARTIN et al., 2012). Em 2015, o Produto Interno Bruto Municipal a preços correntes (PIB-M) foi de R\$ 805 bilhões, PIB per capita de R\$ 9,689 mil - no Brasil era de quase R\$ 24 mil. A distribuição espacial do PIB-M per capita revelou que 1.015 municípios encontram-se abaixo do PIB per capita estimado para a Região Nordeste (R\$ 7.500), ou seja, há uma importante heterogeneidade na geração do produto da economia (BUAINAIN; GARCIA, 2013); e quanto ao nível social da população semiárida, o indicador social atualizado para situar as condições sociais nos municípios brasileiros é o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM) - varia de 0 a 1,0. Segundo a Firjan (2018), a publicação do IFDM (ano-base 2016) relata que a região Nordeste apresenta 50,1% de seus municípios classificados com desenvolvimento regular ou baixo.

3.3.1 Caracterização climática do Semiárido

O clima que abrange quase totalidade dessa região é do tipo BSh, segundo a classificação de Köppen. Com uma precipitação anual máxima de 800 mm, insolação média de 2.800 h.ano⁻¹, temperaturas médias anuais de 23°C a 27°C, evaporação média de 2.000 mm.ano⁻¹ e umidade relativa do ar média em torno de 50%, o Semiárido brasileiro, caracteristicamente, apresenta forte insolação, temperaturas relativamente altas e regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações em um curto período, em média, de três a quatro meses, apresentando volumes de água insuficientes em seus mananciais para atendimento das necessidades da população (SILVA et al., 2010). O norte da região semiárida, onde possui a maior parte do território, os períodos chuvosos estão situados entre os meses de fevereiro e maio, e historicamente são afetados por grandes secas ou grandes cheias (MARENGO et al., 2011).

3.3.2 Caracterização edáfica do semiárido

Os solos das regiões áridas e semiáridas apresentam geralmente baixos teores de matéria orgânica, sendo a produtividade dependente dos níveis de fertilidade natural e da possibilidade de mantê-los através da ciclagem de nutrientes (SAMPAIO et al., 1995). O solo desempenha um papel importante na variação fisionômica da caatinga, na formação das paisagens, como suporte mecânico e no fornecimento de nutrientes e água, essencial para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas (SOUZA et al., 2014).

3.4 Balanço hídrico

É a quantidade de água contabilizada que entra e sai de um sistema solo-atmosfera. Considera-se o balanço hídrico do solo como um método para estudo da absorção de água pelas culturas agrícolas (MORAES et al., 2015).

Hoje, a demanda hídrica torna-se maior e por isso é necessário conhecer o ciclo da água de uma localidade ou região, obtendo conhecimentos de variáveis como evapotranspiração e precipitação (JESUS et al., 2017). Sendo assim, Camargo et al. (1971) afirmou que é possível saber se determinada região pode apresentar deficiência ou excedente de água durante o ano comparando-se estes dois elementos do balanço hídrico. Com o balanço hídrico climatológico (BHC) quantifica-se a disponibilidade de água de uma região e o quanto essa disponibilidade pode ser afetada pelo tipo de cobertura vegetal da mesma (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Associado a isso, as chuvas irregulares (pouco frequentes), os períodos de estiagem, o clima e as mudanças de uso da terra, adicionam mais complexidade na hidrologia das regiões semiáridas (MONTENEGRO; RAGAB, 2012). A compreensão de tendências sazonais e dos períodos de flutuação dos fatores hidrológicos é primordial somados a precipitação, o escoamento superficial e a evapotranspiração (LI et al., 2013).

O balanço hídrico aborda todos os processos de retenção e condução de água no sistema solo-planta-atmosfera e é um dos principais métodos para determinação da

evapotranspiração (SOUZA et al., 2013; SILVA et al., 2014b). A evapotranspiração (ET) depende bastante da disponibilidade de água e energia e também das características do local (LI et al., 2007; MITCHELL et al., 2009), sendo uma das principais formas de transferência de água no sistema solo-planta-atmosfera e em pastagens áridas e semiáridas, podendo ser responsável por mais de 90% do consumo da precipitação (FLERCHINGER et al., 1996).

4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O semiárido nordestino é composto por 1262 municípios, entretanto a área de estudo é a Caatinga nordestina, formada por 42 cidades, em que cada cidade contém uma estação meteorológica (Figura 1).

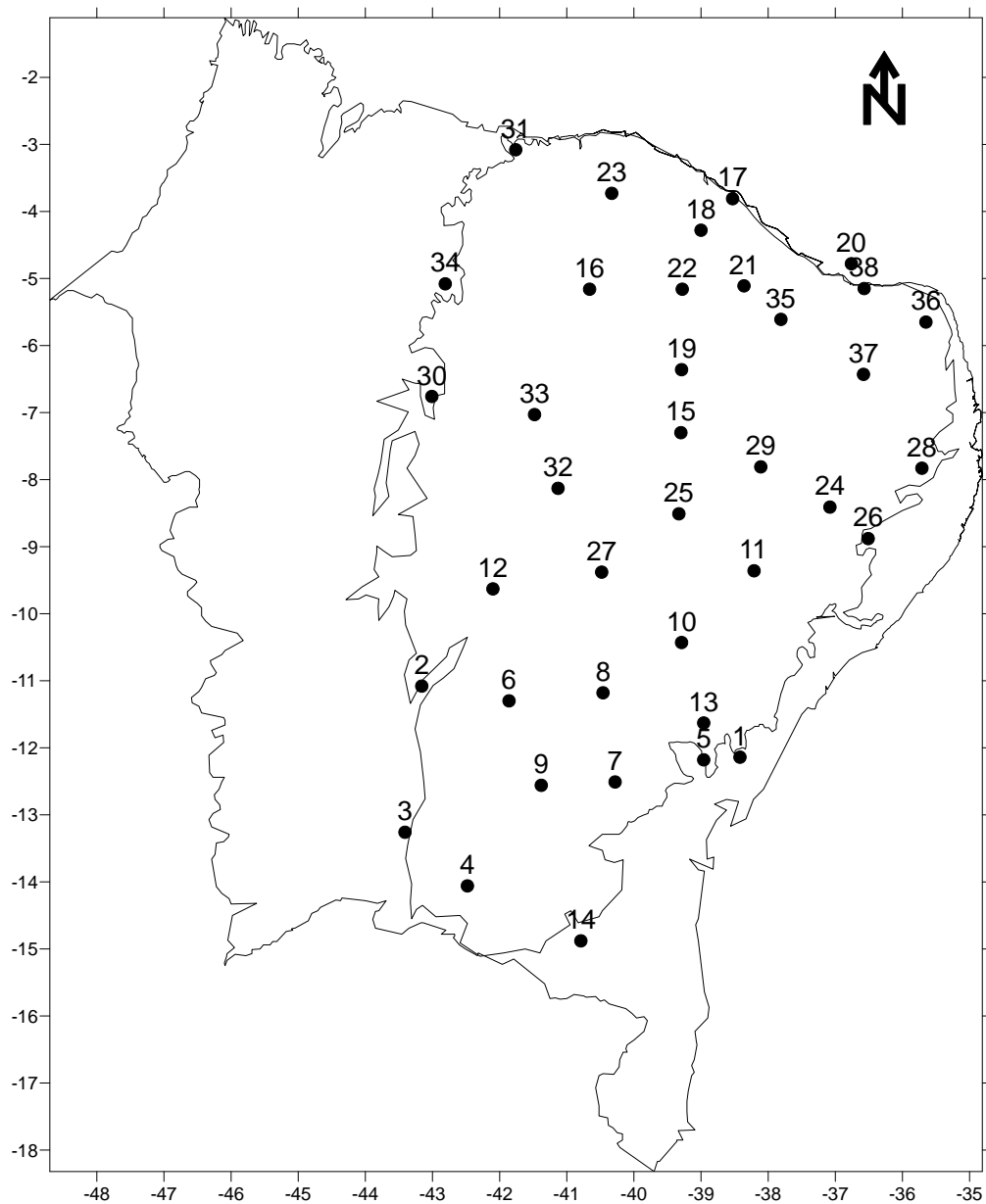


Figura 1. Distribuição espacial das estações convencionais.

A Tabela 1 apresenta as respectivas cidades inseridas na Caatinga nordestina.

Tabela 1. Localização dos postos meteorológicos da caatinga nordestina, conforme estações das cidades, estado, longitude e latitude.

Postos	Cidade	UF	Longitude (graus)	Latitude (graus)
1	Alagoinhas	BA	-38,42	-12,14
2	Barra	BA	-43,16	-11,08
3	B. J. da Lapa	BA	-43,41	-13,26
4	Caetitê	BA	-42,48	-14,06

5	Feira de Santana	BA	-38,96	-12,18
6	Irecê	BA	-41,86	-11,3
7	Itaberaba	BA	-40,28	-12,51
8	Jacobina	BA	-40,46	-11,18
9	Lençóis	BA	-41,38	-12,56
10	Monte Santo	BA	-39,3	-10,43
11	Paulo Afonso	BA	-38,21	-9,36
12	Remanso	BA	-42,1	-9,63
13	Serrinha	BA	-38,96	-11,63
14	V. da Conquista	BA	-40,88	-14,85
15	Barbalha	CE	-39,3	-7,32
16	Crateús	CE	-40,66	-5,16
17	Fortaleza	CE	-38,53	-3,81
18	Quixeramobim	CE	-39,28	-5,16
19	Morada Nova	CE	-38,38	-5,11
20	Jaguaruana	CE	-36,76	-4,78
21	Iguatu	CE	-39,3	-6,36
22	Guaramiranga	CE	-39	-4,28
23	Sobral	CE	-40,33	-3,73
24	Arcoverde	PE	-37,08	-8,41
25	Cabrobó	PE	-39,33	-8,52
26	Garanhuns	PE	-36,52	-8,88
27	Petrolina	PE	-40,48	-9,38
28	Surubim	PE	-35,72	-7,83
29	Triunfo	PE	-38,11	-7,81
30	Florianópolis	PI	-43,01	-6,76
31	Parnaíba	PI	-41,76	-3,08
32	Paulistana	PI	-41,13	-8,13
33	Picos	PI	-41,48	-7,03
34	Teresina	PI	-42,81	-5,08
35	Apodi	RN	-37,8	-5,61
36	Ceará-Mirim	RN	-35,42	-5,65
37	Cruzeta	RN	-36,58	-6,43

38	Macau	RN	-36,63	-5,12
39	Campina Grande	PB	-35,88	-7,22
40	Patos	PB	-37,26	-7,01
41	Monteiro	PB	-37,06	-7,88
42	São Gonçalo	PB	-38,21	-6,75

4.2 Coleta e processamento de dados

Os dados foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir de séries históricas do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Foram levantados dados mensais de temperatura média do ar e precipitação para as 42 estações meteorológicas que fazem parte da Caatinga nordestina num período de janeiro de 1961 a dezembro de 2015. A seguir, os dados foram tabulados no software Microsoft Excel e feita a média de todos os meses em todas as estações do período. Depois de geradas as tabelas com as médias, as mesmas foram utilizadas para cálculo do período normal e cenários otimista e pessimista por posto.

Posteriormente foram utilizadas as informações dos cenários para determinação dos elementos que compõem o balanço hídrico e assim o mesmo pode ser calculado. Em seguida, os dados de evapotranspiração potencial, excedente hídrico e déficit hídrico foram agrupados em planilha para posterior elaboração dos mapas.

Para cálculo da evapotranspiração potencial foi utilizada a seguinte fórmula: $ETP = 16(10 \times T_m / I)^a \times ((N-12) \times (NDP/30))$. Em que: T_m = temperatura mensal (°C); I = insolação; a = constante depende do local, determinada pela fórmula $(67.5 \times 10^{-8} \times I^3) - (7.71 \times 10^{-6} \times I^2) + (0,01791 \times I) + (0,492)$; N = foto período mensal e NDP = número de dias do mês.

Quanto ao excedente, utilizou-se a fórmula: $EXC = (P - ETP) - ALT$. Em que: P = precipitação; ETP = evapotranspiração potencial e ALT = alteração da umidade do solo.

Em relação ao déficit hídrico, foi usada a equação: $DEF = ETP - ETR$. Em que: ETP = evapotranspiração potencial e ETR = evapotranspiração real, determinada pela fórmula: $ETR = P - ALT$.

Os cenários para os quais foram utilizados os dados de temperatura e precipitação foram baseados no quinto relatório do IPCC (IPCC, 2014), em que definem

os cenários RCP4.5, antigo cenário otimista no AR4, e RCP8.5, cenário pessimista no AR4. Nestes cenários levou-se em consideração um aumento na temperatura de 1,4°C e redução de 15% na precipitação para o cenário RCP4.5, e aumento na temperatura de 4,0°C e redução na precipitação de 20% para o cenário RCP8.5.

O balanço hídrico climatológico foi calculado em uma planilha elaborada por Rolim et al. (1998) baseada no método de Thornthwaite e Mather (1955), que exige como variável de entrada apenas a temperatura e a precipitação. Foi considerado o valor de 50 mm para a capacidade de água disponível no solo (CAD) devido os solos da Caatinga não possuírem uma grande capacidade de retenção hídrica. Assim, calculou-se o BH para o período normal, em que tomava os valores da série histórica no presente estudo; e o passo a seguir foi calcular o balanço hídrico nos cenários de mudanças climáticas.

Após o cálculo do BH foi utilizado o software Surfer 9.0 para plotar a distribuição espacial dos valores de evapotranspiração potencial (ETP), do excedente hídrico (EXC) e do déficit hídrico (DEF) para o período normal e de cenários de mudanças climáticas. O Surfer faz a interpolação pelo método de Kriging.

No método de Kriging, a variação espacial é quantificada por um semivariograma. O semivariograma é um gráfico de dispersão da semivariância *versus* distância dos pontos amostrados, sendo que a semivariância é uma medida de dispersão, a metade da variância. O semivariograma serve para analisar a dependência espacial entre as amostras. O semivariograma é calculado a partir dos pontos amostrados usando a seguinte equação: $\gamma(h) = 1/2n \sum_{i=1}^n \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2$ em que, h - é uma distância; n é o número de pontos amostrados separados pela distância h, $\gamma(h)$ - é a semivariância para a distância h, s pontos separada pela distância h, z(x) o valor da amostra na localidade separada da localidade x pela distância h.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Cenário otimista

Observa-se uma distribuição heterogênea dos núcleos de concentração de ETP para o período normal, conforme mostra a Figura 2. Para o período normal (Fig. 2A), na área leste dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe

e Bahia são mostrados os menores valores de ETP, em torno de 1000 mm. Esse fato é explicado pela alta precipitação média anual, que atinge 1000 mm ou mais, e baixa temperatura média anual com cerca de 300°C. As áreas oeste, central, noroeste e nordeste, onde estão situados os estados do Piauí, Ceará, Pernambuco e Rio Grande do Norte, alcançaram os valores mais altos, com variações de 1100 a 2000 mm no território. Isso se deve a baixa precipitação média anual de aproximadamente 800 mm e elevados valores de temperatura média anual, em torno de 300°C.

Para o cenário otimista, Fig. 2B, verifica-se que a evapotranspiração aumentou expressivamente em relação ao período normal (Fig. 2A). Nas regiões centro-oeste, norte, nordeste e leste da Fig. 2B, verificam-se elevações de ETP que vai de 1700 até 3000 mm, de 950 a 2200 mm, de 1100 a 2200 mm e de 1700 até os 3000 mm, respectivamente.

Analisando a evapotranspiração sob cenários de mudanças climáticas em uma região árida chamada Uribia-Guajira, situada na Colômbia, Ospina-Noreña et al. (2017) verificaram um aumento de 178 mm, no cenário RCP 4.5 (com variação de 1,1 a 2,6°C) para o período 2041-2060.

Em ambas as regiões, pode-se afirmar que a evapotranspiração pode aumentar expressivamente na mesma variação de temperatura, considerando o mesmo cenário climático.

Na Figura 2, é apresentada a ETP para o período normal e o cenário otimista.

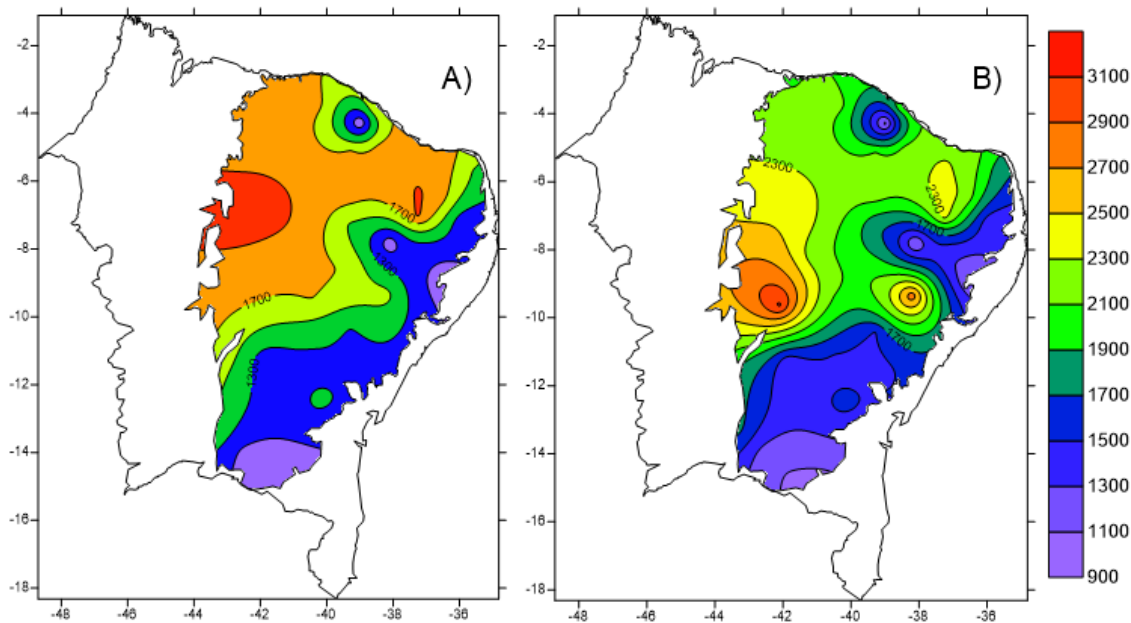


Figura 2. Evapotranspiração Potencial: A) Normal e B) Otimista

No período normal (Figura 3A), são observados vários núcleos de excedentes em várias regiões do território estudado. As regiões central (oeste do Pernambuco), norte (norte do Ceará) e noroeste (norte do Piauí) apresentam valores, com até 450 mm, mais de 800 mm e cerca de 380 mm, respectivamente.

Para o cenário otimista (Fig. 3B), constata-se redução dos núcleos de excedente que abrange as áreas central e norte, incluindo a parte noroeste da Caatinga. Na região norte, o excedente hídrico está presente no norte do Ceará e oeste do Pernambuco, assim como para o norte do Piauí. O cenário otimista mostra em sua quase totalidade um excedente hídrico baixo com reduções de 300 a 400 mm na região norte, na região noroeste, não ocorre excedente hídrico e na região central ocorrem redução significativa do excedente. A área central, representada pelo sul do Ceará, oeste do Pernambuco e da Paraíba, observam-se reduções de 450 mm para 230 mm, de 60 mm para 10 mm; assim como o setor nordeste, onde se situa o estado do Rio Grande do Norte também tem alteração em seu saldo hídrico positivo – diminuição de 280 mm para 45 mm.

Na Figura 3, é apresentado o EXC para o período normal e o cenário otimista.

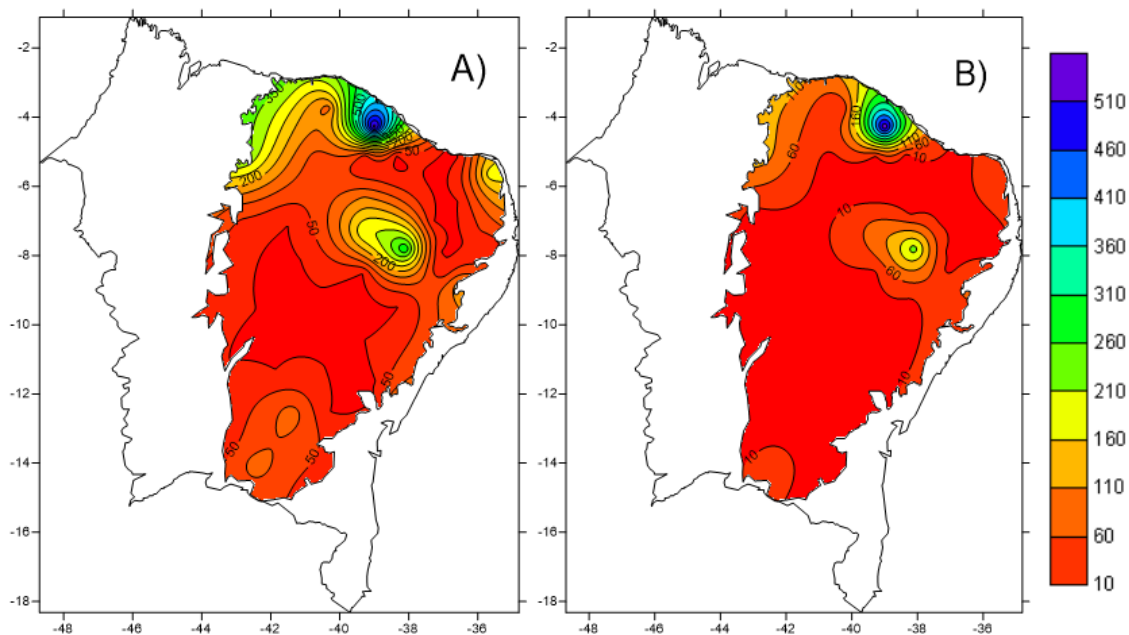


Figura 3. Excedente hídrico: A) Normal e B) Otimista

O cenário otimista (Fig. 4B) apresenta diferenças em relação ao déficit hídrico normal (Fig. 4A). Verifica-se variações de 200 mm para pouco mais de 400 mm na região sul (sul da Bahia); de 1100 mm para 1700 mm ou mais na região centro-oeste (centro e sul do Piauí); de 1150 mm para 1700 mm no região nordeste (estado do Rio Grande do Norte); na região centro-leste (oeste do Pernambuco), os volumes deficientes duplicaram igualmente ao setor norte (norte do Ceará) do território. A área que mais poderá sofrer os efeitos de déficit hídrico no semiárido nordestino é o centro-oeste (estado do Piauí e norte da Bahia), devido a posição geográfica não é favorável, elevando a evapotranspiração e resultando em déficit hídrico, provocando secas (TROLEIS; SANTOS, 2011).

Em trabalho semelhante, Mazzoni et al. (2018) projetaram tendências de déficit hídrico para regiões hiper áridas do Bahrein, Kuwait, Omã e Qatar num período de simulação de 2016 a 2050, e chegaram a aproximadamente 7, 70, 790 e 14 milhões de m^3 de água/ano em 2050, respectivamente.

Como consequência dessas previsões, os impactos das mudanças climáticas na região semiárida brasileira demonstram o quanto a vegetação e os solos poderão ser afetados negativamente pelo aumento da temperatura e redução da precipitação nessas condições.

Na Figura 4, é apresentado o DEF para o período normal e o cenário otimista.

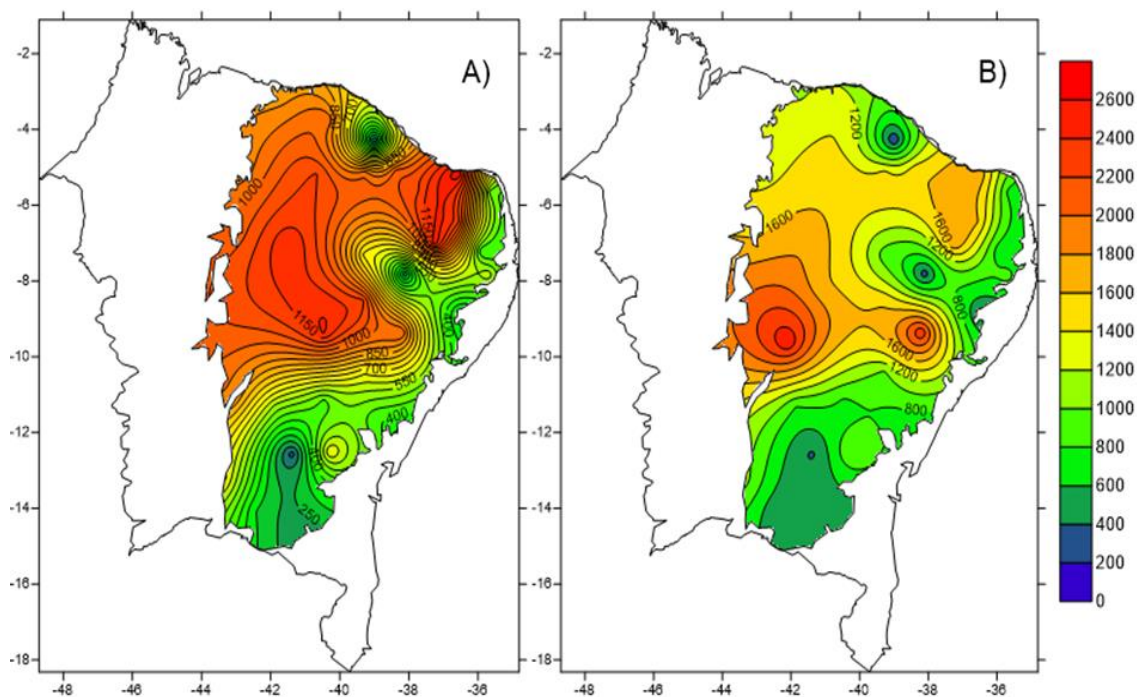


Figura 4. Déficit hídrico: A) Normal e B) Otimista

5.2. Cenário pessimista

No período normal de ETP (Figura 5A), verifica-se valores elevados e os mesmos estão distribuídos na região oeste (estado do Piauí e norte da Bahia), central (oeste do Pernambuco) e nordeste (estado do Rio Grande do Norte). São observados núcleos de concentração que apresentam valores de ETP, que variam entre 1000 e 1950 mm.

Percebe-se uma grande área no cenário pessimista tomada por altos valores de ETP (Figura 5B), abrangendo as regiões centro-oeste (centro do Piauí), parte da região norte (norte do Piauí) e nordeste (oeste do Rio Grande do Norte), onde ocorre a maior quantidade de evapotranspiração, que varia de 3100 a 3900 mm. Da região nordeste a região sul, cortando os estados de Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, observa-se valores de evapotranspiração que variam de 2100 a 2700 mm. E as regiões com menores valores são representados pelo setor leste dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco,

Constatou-se uma enorme disparidade da evapotranspiração na área oeste, que aumenta 1800 mm no cenário pessimista, em comparação com o período normal. Semelhante a essa informação, Ospina-Noreña et al. (2017), analisaram a evapotranspiração sob cenários de mudanças climáticas em uma região árida da Colômbia e obteve um aumento de 368 mm, no cenário RCP 8.5, com variação de 2,6 a 4,8°C, para o período 2061-2080.

Na Figura 5, é mostrada ETP para o período normal e o cenário pessimista.

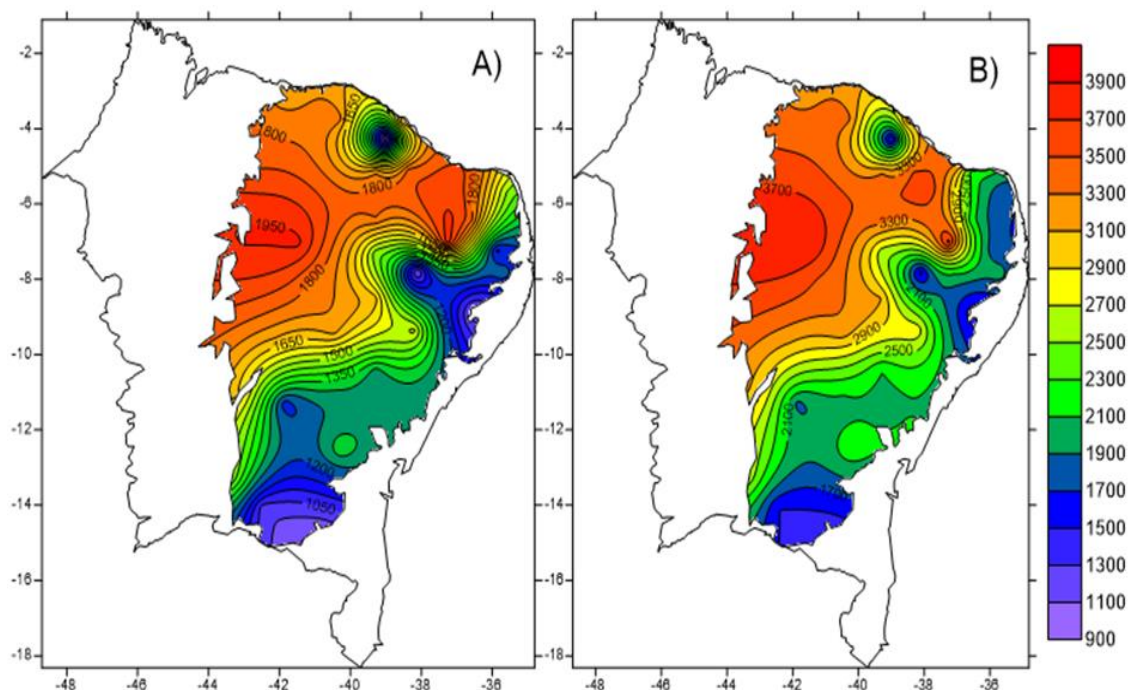


Figura 5. Evapotranspiração Potencial: A) Normal e B) Pessimista

Na Figura 6A, o período normal mostra as regiões central, norte e noroeste, além da região nordeste, com excedentes hídricos elevados. Os maiores valores na região norte chegam a mais de 800 mm; na região central, os valores chegaram a aproximadamente 450 mm; na região noroeste, os valores atingiram quase 400 mm e na região nordeste chegam a aproximadamente 300 mm. Os menores valores de excedente estão localizados nas regiões oeste, sul e leste, onde não ultrapassam 200 mm.

O cenário pessimista (Fig. 6B) apresenta baixos valores de excedente hídrico em quase totalidade da área em estudo. A região norte mostrou valores elevados em relação às outras localidades (em torno de 320 mm). Em quase totalidade da área estudada, o excedente varia de 0 a 50 mm. Nesse caso, há reduções de excedente na parte norte de

aproximadamente 1200 mm em relação ao período normal (Fig.6A). Isto se deve possivelmente a um aumento da temperatura média da atmosfera sobre a Caatinga, explicado pela tendência significativa do saldo de radiação solar ao leste dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco (SILVA et al., 2010) sobre os cursos d'água causando a evaporação dos recursos hídricos.

Na Figura 6, é apresentado o EXC para o período normal e o cenário pessimista.

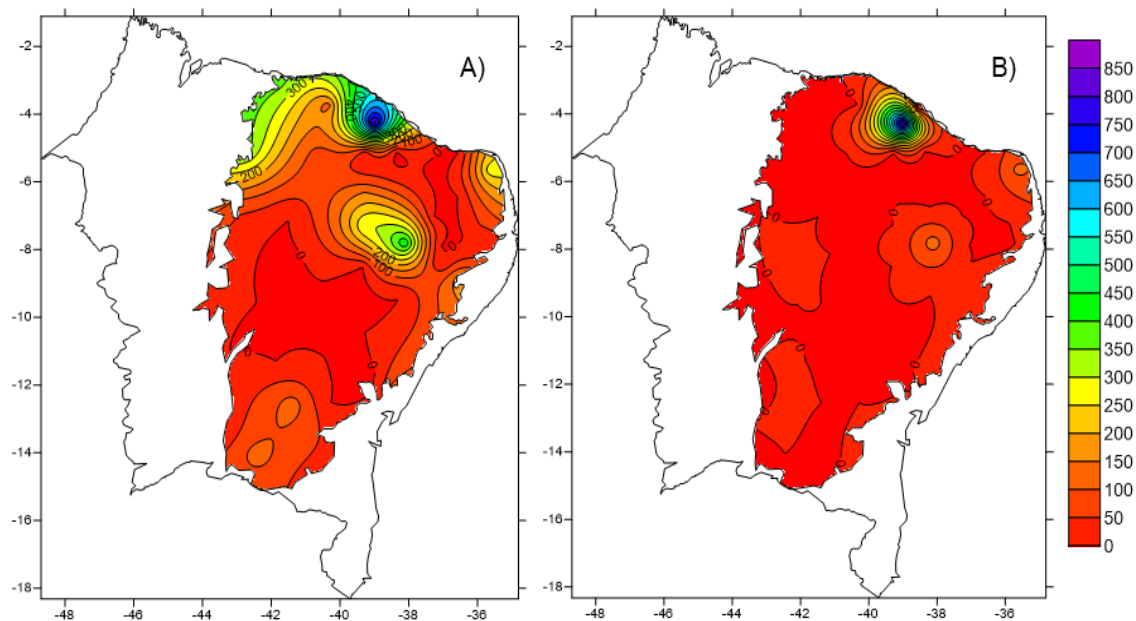


Figura 6. Excedente hídrico: A) Normal e B) Pessimista

O mapa do período normal (Fig. 7A) retrata déficits significativos em grande parte da área central (norte da Bahia), oeste (centro do Piauí) e norte (norte do Piauí). No norte, os déficits variaram de 1000 a mais de 1200 mm. A área nordeste (oeste do Rio Grande do Norte) do bioma apresenta núcleos de déficit em torno de 1300 mm. A região que sofre com a escassez é o oeste da Caatinga. Vale salientar que anualmente ocorrem altas temperaturas e baixas precipitações nessas áreas, acarretando aumentos na evaporação dos recursos hídricos e consequentemente, aumentos na temperatura do solo.

No cenário de previsão pessimista (Fig. 7B), a região centro-oeste se destaca com os maiores déficits hídricos, alcançando valores que variam de 2200 até 3000 mm. Uma parte do região norte da Caatinga aponta também déficits elevados, que podem chegar até aproximadamente 3000 mm no período projetado. Localidades pertencentes a

parte sul e sudeste da área de estudo exibe da mesma forma uma escassez hídrica, com flutuação de

700 a 1700 mm. Ou seja, em um cenário preocupante (pessimista) os déficits hídricos na região norte e nordeste, bem como de outras regiões, pode aumentar mais de 1000 mm.

Em estudos realizados sobre balanço hídrico climatológico com cidades pertencentes ao território da Caatinga, Santos et al. (2016) concluíram que todas as localidades se encontraram em déficit hídrico entre 658 e 1012 mm, num período de 1970 a 2013.

Na Figura 7, é apresentada a DEF para o período normal e o cenário pessimista.

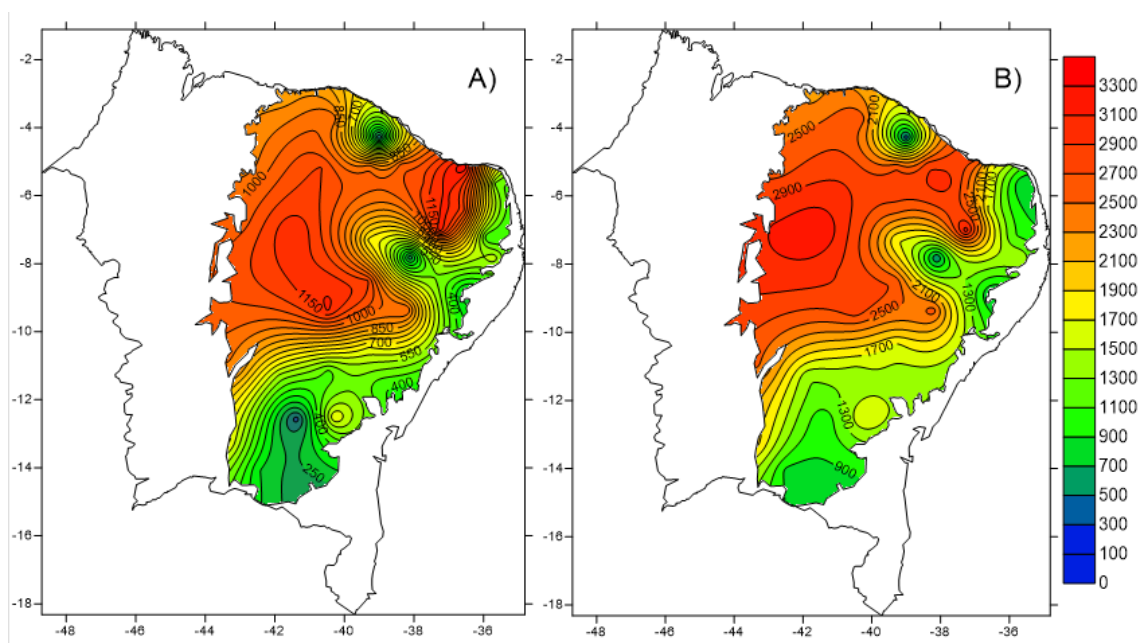


Figura 7. Déficit hídrico: A) Normal e B) Pessimista.

6. CONCLUSÃO

O balanço hídrico para o bioma Caatinga nos cenários otimista e pessimista de mudanças climáticas sofreu alterações. No cenário otimista, observou-se diminuição da evapotranspiração potencial e do excedente hídrico, com conseqüente elevação do déficit hídrico. Em relação ao cenário pessimista, apresentou aumento da evapotranspiração potencial, redução do excedente hídrico e elevação do déficit hídrico numa projeção até o final do século XXI.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELOTTI, F., SIGNOR, D., GIONGO, V. Mudanças climáticas no Semiárido brasileiro: experiências e oportunidades para o desenvolvimento. **Embrapa Semiárido** - Artigo em periódico indexado (ALICE), 2015.

ARTAXO, P. Mudanças climáticas e o Brasil. **Revista USP**, n. 103, p. 8-12, 2014.

ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M. C. Análise climática da precipitação no submédio da bacia do rio São Francisco a partir do índice de anomalia de chuva. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 36, n. 6, 2015.

AVILA, A. M. H. Uma Síntese do Quarto Relatório do IPCC. **Revista Multiciência**, Campinas, v. 8, n. 2, p.163-168, maio 2007.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Desenvolvimento rural do semiárido brasileiro: transformações recentes, desafios e perspectivas. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie / Revista franco-brasileira de geografia**, n. 19, 2013.

CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo (Boletim Técnico, 116). Campinas: IAC, 1971.

CARVALHO, H. D. P., DOURADO NETO, D., TEODORO, R. E. F., & MELO, B. D. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Bioscience Journal (Online)**, v. 27, n. 2, p. 221-229, 2011.

CUNHA, D. A. D., COELHO, A. B., FÉRES, J. G., BRAGA, M. J., SOUZA, E. C. D. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 2, p. 369-386, 2013.

EL KHARRAZ, J.; EL-SADEK, A.; GHAF FOUR, N.; & MINO, E. Water scarcity and drought in WANA countries. **Procedia Engineering**, v. 33, p. 14-29, 2012.

FLERCHINGER, G. N.; HANSON, C. L.; WIGHT, J. R. Modeling evapotranspiration and surface energy budgets across a watershed. **Water Resources Research**, v. 32, n. 8, p. 2539-2548, 1996.

ÍNDICE FIRJAN DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL (Brasil). **Sistema FIRJAN**. Ano-base, 2016. 27p.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (Brasil). Semana em defesa da Caatinga é iniciada. **Ministério do Meio Ambiente**. 2011.

JESUS, T. C. L.; SENNA, M. C. A.; CATALDI, M.; PAIVA, C. M.; & FRANZ, B. Impacto do aumento da concentração atmosférica de CO₂ no balanço hídrico climatológico do cerrado. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

LACERDA, F. F.; NOBRE, P.; SOBRAL, M. C.; & LOPES, G. M. B. Alterações climáticas globais; uma realidade em Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 11, p. 121-154, 2016.

LI, Q.; YU, X.; XIN, Z.; & SUN, Y. Modeling the effects of climate change and human activities on the hydrological processes in a semiarid watershed of loess plateau. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 4, p. 401-412, 2012.

MARCUZZO, F. F. N., CARDOSO, M. R. D., & MELLO, L. T. A. D. Uso dos Métodos de Krigagem e Spline de Tensão no Mapeamento de Chuvas na Região Metropolitana de Goiânia e Seu Entorno. 2010.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, 2008.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; & LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, p. 384-422, 2011.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. 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, v. 8, n. 1, p.5-28, maio 2007.

MAZZONI, A.; HEGGY, E.; SCABBIA, G. Forecasting water budget deficits and groundwater depletion in the main fossil aquifer systems in North Africa and the Arabian Peninsula. **Global Environmental Change**, v. 53, p. 157-173, 2018.

MEARNS, R., NORTON, A. (Eds.), 2010. **Social Dimensions of Climate Change: Equity and Vulnerability in a Warming World**. World Bank, Washington, DC. In: HERRERA-PANTOJA, M.; HISCOCK, K. M. Projected impacts of climate change on water availability indicators in a semi-arid region of central Mexico. *Environmental Science & Policy*, [s.l.], v. 54, p.81-89, dez. 2015.

MENDES, S. M. Impactos das Mudança Climáticas na Disponibilidade Hídrica no Bioma Caatinga. **Repositório Institucional da UFPE**, 2015.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of hydrology**, v. 391, n. 1-2, p. 202-216, 2010.

MITCHELL, P. J., VENEKLAAS, E., LAMBERS, H., & BURGESS, S. S. Partitioning of evapotranspiration in a semi-arid eucalypt woodland in southwestern Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, p.25-37, 2009. In: SOUZA, Rodolfo M. S. et al. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [s.l.], v. 19, n. 5, p.449-455, maio 2015. FapUNIFESP (SciELO).

MONTENEGRO, S.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi-arid regions: A case study from North Eastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 434-435, p.55-68, 2012. In: SOUZA, Rodolfo M. S. et al. Balanço hídrico em área de

pastagem no semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [s.l.], v. 19, n. 5, p.449-455, maio 2015. FapUNIFESP (SciELO).

MORAES, J. G.; MARCIANO, C. R.; AMARAL, C. O. Balanço hídrico e coeficiente de cultura da laranjeira ‘Folha Murcha’ no Noroeste Fluminense. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza - Ce, v. 46, n. 2, p.241-249, jun. 2015.

NEVES, G. L. **Impacto das mudanças climáticas globais na disponibilidade hídrica do solo no estado do Paraná**. 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2015.

OSPINA-NOREÑA, J. E., DOMÍNGUEZ-RAMÍREZ, C. A., VEGA-RODRÍGUEZ, E. E., DARGHAN-CONTRERAS, A. E., & RODRÍGUEZ-MOLANO, L. E. Analysis of the water balance under regional scenarios of climate change for arid zones of Colombia. *Atmósfera*, v. 30, n. 1, p. 63-76, 2017.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas. **Guairá: Agropecuária**, 2002.

PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. D. M. B.; MEDEIROS, S. S. D.; TINÔCO, L. B. D. M., & SALCEDO, I. H. Núcleos de Desertificação no Semiárido Brasileiro: Ocorrência Natural ou Antrópica. **Parc. Estrat. Brasília**, v. 17, n. 34, p. 87-106, 2013.

ROLIM, G. D. S., SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. 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**, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, J. H.; SILVA, F. B. R. Fertilidade de Solos do semiárido do Nordeste. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 21, 1995, Petrolina. **Anais...** Petrolina: SBCS, p.51-71, 1995.

SANTOS, S. A., CORREIA, M. F., ARAGÃO, M. R. S., & SILVA, P. K. O. Aspectos da Variabilidade Sazonal da Radiação, Fluxos de Energia e CO₂ em Área de Caatinga (Seasonal Variability Aspects of Radiation and Fluxes of Energy and CO₂ in a Caatinga Area). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 4, p. 761-773, 2012.

SHI, J., WANG, Z., ZHANG, Z., FEI, Y., LI, Y., ZHANG, F. E., CHENG, J., & QIAN, Y. Assessment of deep groundwater over-exploitation in the North China Plain. **Geoscience Frontiers**, v. 2, n. 4, p. 593-598, 2011.

SILVA, R.A., SILVA, V.P.R.; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 5, 2010.

SILVA, P.C.G., MOURA, M. S. B., KIILL, L. H. P., BRITO, L. D. L., PEREIRA, L. A., SÁ, I. B., CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. de C.; CUNHA, T. J. F. & FILHO, C. G. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2010.. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/861906>>. Acesso em: 01 set. 2018.

SILVA, R. A. B, LIMA, J. R. S, ANTONINO, A. C. D., GONDIM, P. S. S., SOUZA, E. S, & JÚNIOR, G. B. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.147-157, 2014.

SOUZA, M. T. C.; SILVA, M.E.F.; PAULO, P.F.M.; RIBEIRO, A.B.; ANDRADE, A.P.; CASSUCE, M.R. Caracterização climática e o efeito do estresse hídrico sob as plantas nativas da caatinga. **PUBVET**, Londrina, V. 8, N. 1, ed. 250, Art. 1655, Janeiro, 2014.

SOUZA, C., ANDRADE, A. P., LIMA, J. R. D. S., ANTONINO, A. C., SOUZA, E. S., & DA SILVA, I. D. F. Balanço hídrico da cultura da mamona sob condições de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.3-10, 2013.

SOUZA, L. S. B., DE MOURA, M. S. B., SEDIYAMA, G. C., & DA SILVA, T. G. F. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 8, p. 627-636, 2015.

SOUZA, R. M. S., DE 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, n. 5, p.449-455, maio 2015. FapUNIFESP (SciELO).

SUDENE. Desenvolvimento regional é pauta do Condel. 2017. Disponível em: <<http://sudene.gov.br/noticias/63-regional/829-resultado-reuniao-condel>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev.**, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. publication in climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

TROLEIS, A.; SANTOS, A. C. V. Estudos do Semiárido. **Natal: EDUFRN**, 2011.

ONU, 2011. World population prospects: the 2010 revision, highlights and advance tables. In: Working Paper No. ESA/P/WP.220. United Nations, **Department of Economic and Social Affairs**, Population Division. In: HERRERA-PANTOJA, M., HISCOCK, K.M. Projected impacts of climate change on water availability indicators in a semi-arid region of central Mexico. *Environmental Science & Policy*, v. 54, p.81-89, dez. 2015.

WANG, X. J., ZHANG, J. Y., ALI, M., SHAHID, S., HE, R. M., XIA, X. H., & JIANG, Z. Impact of climate change on regional irrigation water demand in Baojixia irrigation district of China. **Mitigation and adaptation strategies for global change - Springer Link**, v. 21, n. 2, p. 233-247, 2016.

