

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

DINÂMICA DOS MÚLTIPLOS USOS DA ÁGUA EM PERÍODOS DE ESCASSEZ HÍDRICA: UMA ANÁLISE PARA BACIA DO RIO CHORÓ, CEARÁ, BRASIL

*Greicy Kelly da Silva¹ ; Antônio Duarte Marcos Júnior² ; Marx Vinicius Maciel da Silva³ &
Cleiton da Silva Silveira⁴*

RESUMO – Eventos de secas impactam negativamente os sistemas hidrológicos e o desenvolvimento socioeconômico de uma região, sobretudo quando localizada no semiárido. Neste trabalho foi utilizado o Índice Padronizado de Precipitação para identificar períodos de escassez hídrica na Microbacia do Rio Choró e como isso impacta os municípios banhados pela bacia nos âmbitos econômico e socioambiental. O SPI-12 mostrou uma acentuada variabilidade interanual e decadal, destacando o período de 2011 a 2018 com a maior ocorrência de eventos intensos de seca na série temporal. A partir de dados do IBGE, foi possível identificar um impacto significativo no efetivo de rebanhos (total bovino, caprino e ovino) na maioria dos municípios, em decorrência do evento de Seca Moderada mostrada no SPI-48 em 2016. No setor agrícola, as quantidades produzidas e o rendimento médio do feijão e milho apresentaram uma redução expressiva a partir de 2013, ano caracterizado com evento de Seca Moderada. O ano de 2011 – ano com evento de Umidade Moderada, detém as maiores quantidades produzidas e rendimento médio para ambas culturas. Dentre os impactos ambientais destaca-se, em alguns dos municípios, a insegurança hídrica em função da qualidade e quantidade, ambos comprometidos em virtude das condições de escassez e atividades antrópicas.

ABSTRACT – Drought events negatively impact hydrological systems and the socioeconomic development of a region, especially when located in the semi-arid. In this work, the Standardized Index of Precipitation was used to identify periods of water shortage in the Choró River Basin and how this impacts the city bathed by the basin in the economic and socio-environmental scopes. The SPI-12 showed a marked interannual and decadal variability, highlighting the period from 2011 to 2018 with the highest occurrence of intense drought events in the time series. From IBGE data, it was possible to identify a significant impact on the effective of herds (total cattle, goat and sheep) in most city as a result of the Moderate Drought event shown on SPI-48 in 2016. In the agricultural sector, the quantities produced and the average yield of beans and maize showed a significant reduction from 2013, year characterized with Moderate Drought event. The year 2011 - year with Moderate Humidity event, holds the largest quantities produced and average yield for both crops. Among the environmental impacts stands out, in some of the towns, the water insecurity due to the quality and quantity, both compromised by the conditions of scarcity and anthropic activities.

1) Aluna, Doutorado em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, greicy.silva@alu.ufc.br

2) Aluno, Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas, Universidade Estadual do Ceará, duarte.jr105@gmail.com

3) Aluno, Doutorado em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, marx.silva@alu.ufc.br

4) Professor adjunto, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, cleitonsilveira@ufc.br

Palavras-Chave – Rio Choró. SPI. Impactos.

INTRODUÇÃO

Os sistemas hidrológicos e o desenvolvimento socioeconômico de uma região podem ser afetados em decorrência dos períodos de estiagem. Vários são os setores impactados negativamente pelas secas severas: produções agrícolas; atividades de pecuária; reservatórios de abastecimento hídrico, usos na indústria e geração de energia. Por este motivo, é necessário um monitoramento que vise a mitigação dos problemas decorridos de estiagens severas, de forma a auxiliar os órgãos gestores na realização de ações eficientes de combate às secas e gestão adequada dos recursos hídricos.

A seca pode ser um fator limitante nos âmbitos social, econômico e ambiental. Acarreta o aumento da vulnerabilidade da população e ecossistema, comprometendo, por exemplo, sua subsistência. Aliada a intensa urbanização e atividades antrópicas, impulsiona alterações na disponibilidade hídrica e aumenta a demanda, provocando estresse e escassez do recurso. Como consequências, destaca-se a deterioração da qualidade de vida da população, que, por sua vez, também implica no desenvolvimento econômico e social (Tundisi (2008)).

As peculiaridades da seca e a ampla gama de setores da economia afetados faz com que seu efeito seja difícil de avaliar e/ou quantificar. Em geral, para se identificar e avaliar as condições de seca, comumente utiliza-se índices de seca baseados em variáveis meteorológicas e hidrológicas. O uso do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) como uma ferramenta que pode ser aplicada em diversas regiões, dependendo unicamente de dados de precipitação e fornecendo subsídios para estudos que compreendam análises da ocorrência dos fenômenos de seca e avaliação da vulnerabilidade do local, por exemplo (Canamary *et al.* (2015), Suassuna e Maia (2017)).

Sendo o Estado do Ceará localizado no Polígono das Secas – região caracterizada pela sua extrema irregularidade pluviométrica temporal e espacial, a região banhada pela microbacia do Rio Choró - um dos principais rios que compõem as Bacias Metropolitanas no Estado, apresenta uma vazão comprometida pela variabilidade temporal típica do semiárido. Logo, a oferta hídrica da região é minimizada consideravelmente em virtude da ocorrência frequente do fenômeno de secas, atribuindo ao Rio Choró características intermitentes.

O objetivo deste trabalho é estudar a dinâmica dos múltiplos usos da água em períodos de escassez hídrica, identificando como os fenômenos de secas alteram a estrutura da demanda hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Choró identificando os possíveis impactos econômicos e socioambientais decorrentes.

METODOLOGIA

Região de Estudo

A área de estudo compreende a Microbacia do Rio Choró (MCH), uma sub-bacia que compõe as Bacias Metropolitanas no Estado do Ceará e possui o Rio Choró como elemento de maior destaque em sua drenagem. A MCH localiza-se na porção nordeste do Estado e alcança os municípios de: Aracoiaba; Aratuba; Barreira; Baturité; Beberibe; Canindé; Capistrano; Choró; Chorozinho; Cascavel; Guaramiranga; Horizonte; Quixadá; Itapiúna; Mulungu; Ocara; Pacajus e Redenção (CEARÁ, 2015). Segundo CEARÁ (2009), a temperatura média anual varia entre 26 °C e 28 °C e apresenta seu período chuvoso, com principal ocorrência, entre os meses de janeiro a maio, verificando-se ainda uma média anual pluviométrica próxima dos 1000 mm. A Figura 1 apresenta o mapa de localização da região.

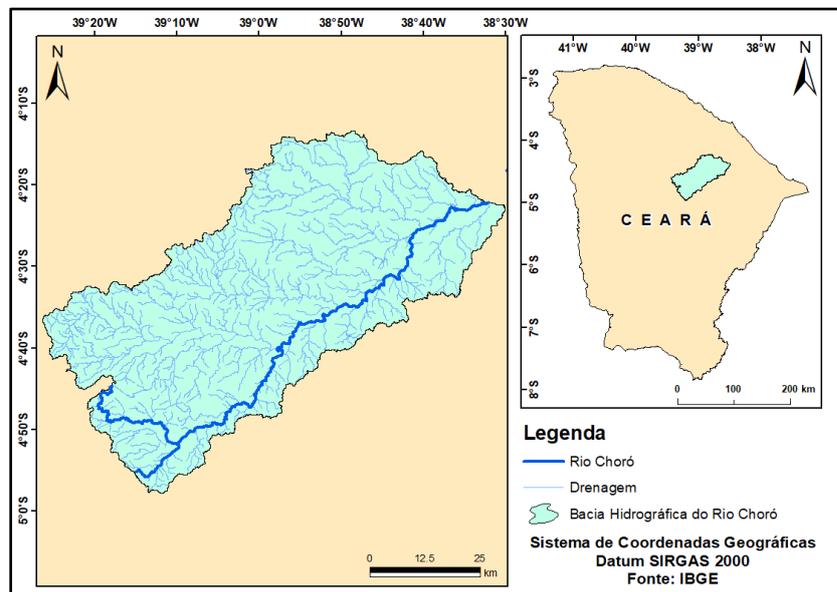


Figura 1 – Localização da área de estudo

Índice Padronizado de Precipitação

De modo a avaliar a variabilidade climática da região de estudo, foi calculado o Índice Padronizado de Precipitação (SPI), do inglês *Standard Precipitation Index*, método de monitoramento das condições de seca desenvolvido por McKee *et al.* (1993, 1995). O SPI é baseado em estatísticas técnicas, que podem quantificar o grau de umidade comparando três, seis, 12 ou 24 chuvas mensais totais com o período histórico de chuvas ao longo da história (Guedes *et al.* (2012), McKee *et al.* (1993)). Segundo o *National Drought Mitigation Center* (2007) (NDMC), o SPI de 1 mês reflete condições de curto prazo e sua aplicação pode estar relacionada com a umidade do solo. O SPI de 3 meses fornece uma estimativa sazonal da precipitação; o SPI de 6 e 9 meses indica tendências de médio prazo nos padrões de precipitação e o SPI de 12 meses ou escalas superiores reflete os padrões de precipitação a longo prazo, geralmente vinculados a fluxos de córregos, níveis

de reservatórios e níveis de água subterrânea. Quanto maior o tempo de registro usado no cálculo do SPI, mais confiáveis serão os valores do índice, especialmente para valores de SPI em escala longa (Wu *et al.* (2005)). Seu algoritmo de cálculo fundamenta-se no registro de chuvas de longo prazo, em que este se ajusta a uma distribuição de probabilidade (Fernandes *et al.* (2009)). Essa distribuição é computada aplicando a seguinte função densidade de probabilidade $g(x)$ (Thom (1966)):

$$g(x) = \frac{x^{a-1} e^{-x/\beta}}{\beta^a \Gamma(a)} \quad (1)$$

em que a é um parâmetro de forma, β é um parâmetro de escala, x é o valor de precipitação e Γ é a função gama. Para a equação 1, considera-se ainda: $a > 0$; $\beta > 0$ e $x > 0$.

Os valores de SPI são resultados da aplicação do inverso da distribuição normal padronizada (ψ) da função cumulativa $G(x)$, em que esta é obtida integrando-se a equação 1, conforme mostra a equação 2 e assumindo os novos parâmetros $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$ e A , computados através das equações 3, 4 e 5 respectivamente:

$$G(x) = \int_0^x \frac{x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}}}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \quad (2)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\hat{x}}{\hat{\alpha}} \quad (4)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (5)$$

em que n trata do número de observações de precipitação, \bar{x} é a média da amostra de dados e ψ^{-1} é o inverso da função de probabilidade normal com média zero e variância um (Guttman (1999), Thom (1966)). A Tabela 1 mostra como os valores de SPI podem ser interpretados para categorizar a seca ou umidade, de acordo com McKee *et al.* (1993, 1995).

Tabela 1 – Associação entre os valores de SPI e as categorias de umidade e suas respectivas siglas

SPI	Categoria	Sigla
-2,0 a -3,0	Seca Extrema	ED
-1,5 a -1,99	Seca Severa	SD
-1,0 a -1,49	Seca Moderada	MD
0,0 a -0,99	Seca Insipiente	ID
0,0 a 1,49	Umidade Insipiente	IW
1,5 a 1,99	Umidade Moderada	MW
2,0 a 2,49	Umidade Severa	SW
2,5 a 3,0	Umidade Extrema	EW

Dados utilizados

Neste trabalho, os dados de precipitação foram obtidos a partir da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), abrangendo todos os postos pluviométricos dentro

da região da bacia. A precipitação média na bacia foi interpolada através do método de Krigagem para uma série histórica de 1978 a 2018. O SPI foi calculado, em programa Python, escolhendo-se as escalas temporais de 12 meses (SPI-12) e 48 meses (SPI-48). Os impactos econômicos foram identificados a partir de uma análise qualitativa dos dados referente a base econômica, obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tomando os setores da agropecuária e cultivos de milho e feijão, para os anos de 2009, 2011, 2013 e 2016 nos municípios localizados na MCH. O município de Pacajus foi desconsiderado na análise do cultivo de milho em virtude da ausência de dados em alguns anos. A partir do documento do Pacto das Águas nas Bacias Metropolitanas (CEARÁ, 2009), se identificou também os impactos socioambientais sofridos por alguns municípios.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 é mostrado o SPI-12 para a Bacia do Rio Choró no período de 1974 a 2018. Identifica-se uma acentuada variabilidade interanual e decadal, sendo o período de 2011 a 2018 o que contém maior ocorrência de eventos intensos de seca na série temporal.

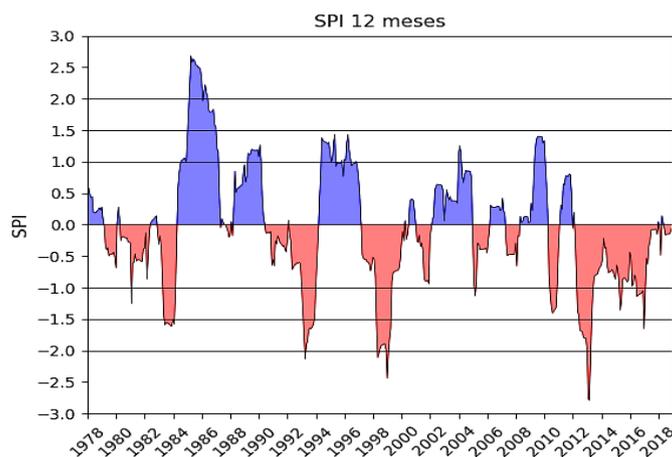


Figura 2 – Índice Padronizado de Precipitação (SPI), SPI-12, relativos a Bacia do Rio Choró.

Dessa forma, foram escolhidos os anos de 2009, 2011, 2013 e 2016 para se avaliar a variabilidade climática na região da bacia. Na Figura 3(a) é possível observar o resultado do SPI-12 meses maio/2009, categorizando as condições de Umidade Extrema em maior parte da sub-bacia e de Umidade Severa para a região que contém os municípios de Choró, Quixadá, Itapiúna e Baturité. A Figura 3(b) mostra o SPI-12 meses maio/2011 que categorizou grande parte da MCH com condições de Umidade Moderada. A Figura 3(c) apresenta o resultado do SPI-12 meses maio/2013, que foi marcado pela Seca Moderada em grande parte da bacia. O SPI-12 meses maio/2016 é mostrado na Figura 3(d) e categorizou condição Normal na sub-bacia. Para o mesmo ano, a condição de Seca Moderada em grande parte da bacia foi identificada no SPI-48 meses conforme mostrado na Figura 3(e).

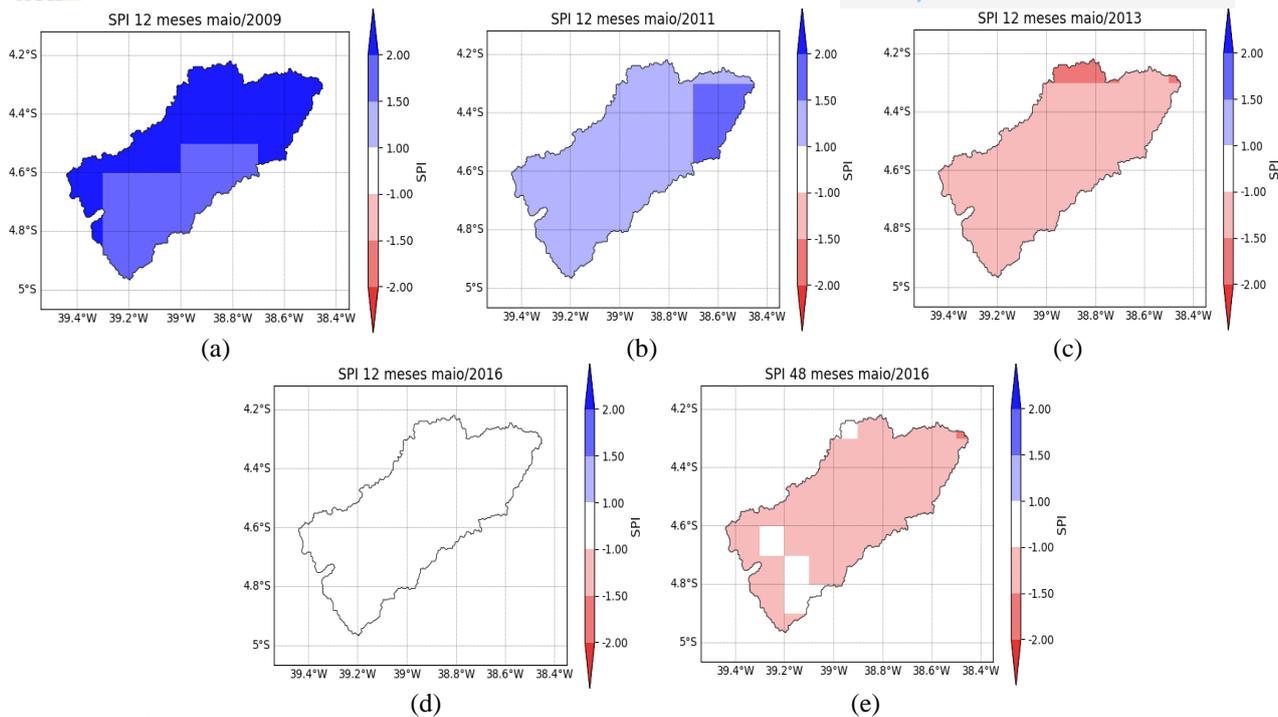


Figura 3 – Índice Padronizado de Precipitação (SPI) referente ao mês de maio, SPI-12 para os anos de (a) 2009, (b) 2011, (c) 2013, (d) 2016 e SPI-48 para o ano (e) 2016.

Os dados dos censos agropecuários realizados pelo IBGE nos anos de 2006 e 2016, fornecem o número de cabeças (total composto pelos rebanhos bovinos, ovinos e caprinos) para os respectivos anos conforme mostrado na Figura 4(a) e 4(b).

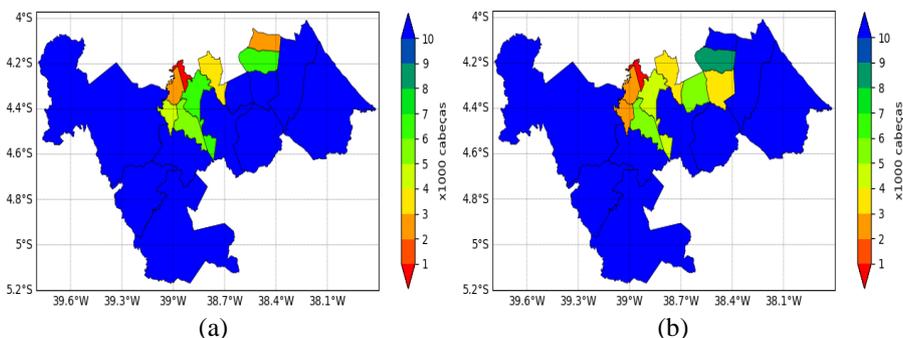


Figura 4 – Número de cabeças (total rebanhos bovinos, ovinos e caprinos) para os anos de (a) 2006 e (b) 2016

O déficit hídrico identificado na Figura 3(e) impactou o efetivo dos rebanhos em alguns municípios. As maiores reduções entre os anos de 2006 e 2016 foram identificadas nos municípios de Canindé, Cascavel, Chorozinho e Quixadá, com a diminuição de 56.133 cabeças, 27.133, 13.647 e 13.321 respectivamente.

No setor agrícola, foram analisados a Quantidade Produzida e o Rendimento Médio de feijão e milho para os anos de 2009, 2011, 2013 e 2016. Na Figura 5 é possível observar que a partir de 2013, ano categorizado com eventos de Seca Moderada, as quantidades produzidas em toneladas para as culturas de feijão e milho sofreram reduções na maioria dos municípios banhados pela MCH (ver

Figuras 5(c) e 5(g)). Entre os anos de 2011 e 2013 – anos caracterizados com condições de Umidade Moderada e Seca Moderada, respectivamente – destaca-se uma notável diferença nas quantidades produzidas para o cultivo de milho (ver Figuras 5(f) e 5(g)). O ano de 2011 – que foi caracterizado com Umidade Moderada – detém as maiores quantidades produzidas para ambas culturas (ver Figuras 5(b) e 5(f)).

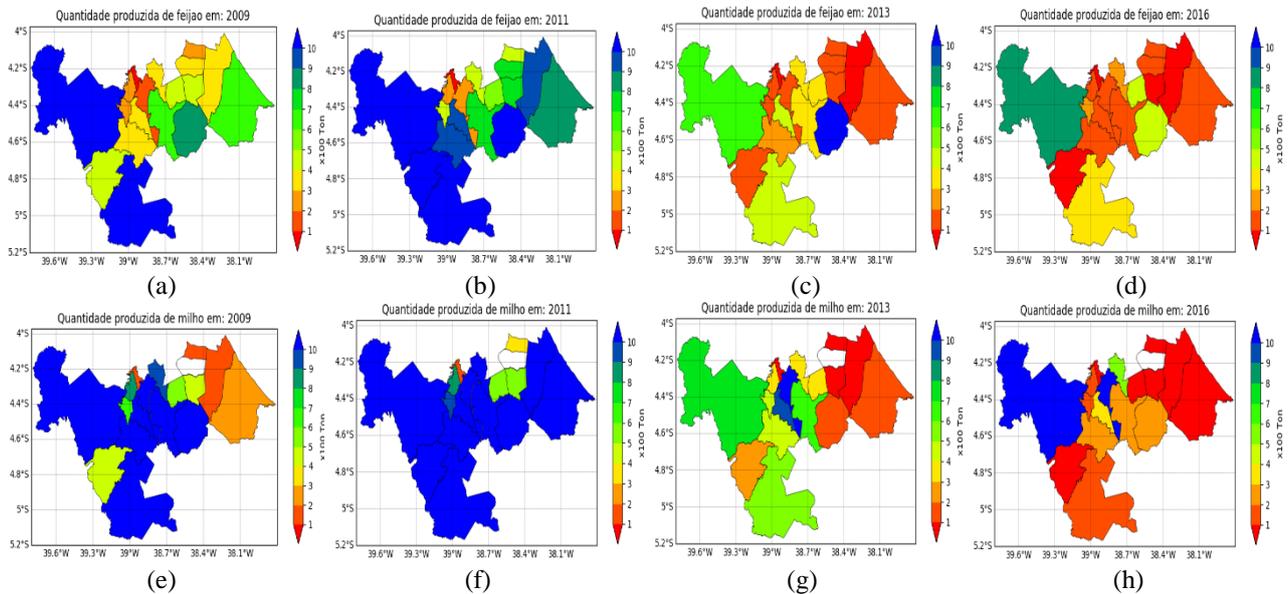


Figura 5 – Quantidade Produzida (x100 ton) de feijão (a) 2009, (b) 2011, (c) 2013, (d) 2016 e de milho (e)2009, (f) 2011, (g) 2013 e (h) 2016

A Figura 6 mostra o Rendimento Médio (x100 kg/ha) de feijão (a) 2009, (b) 2011, (c) 2013, (d) 2016 e de milho (e) 2009, (f) 2011, (g) 2013 e (h) 2016.

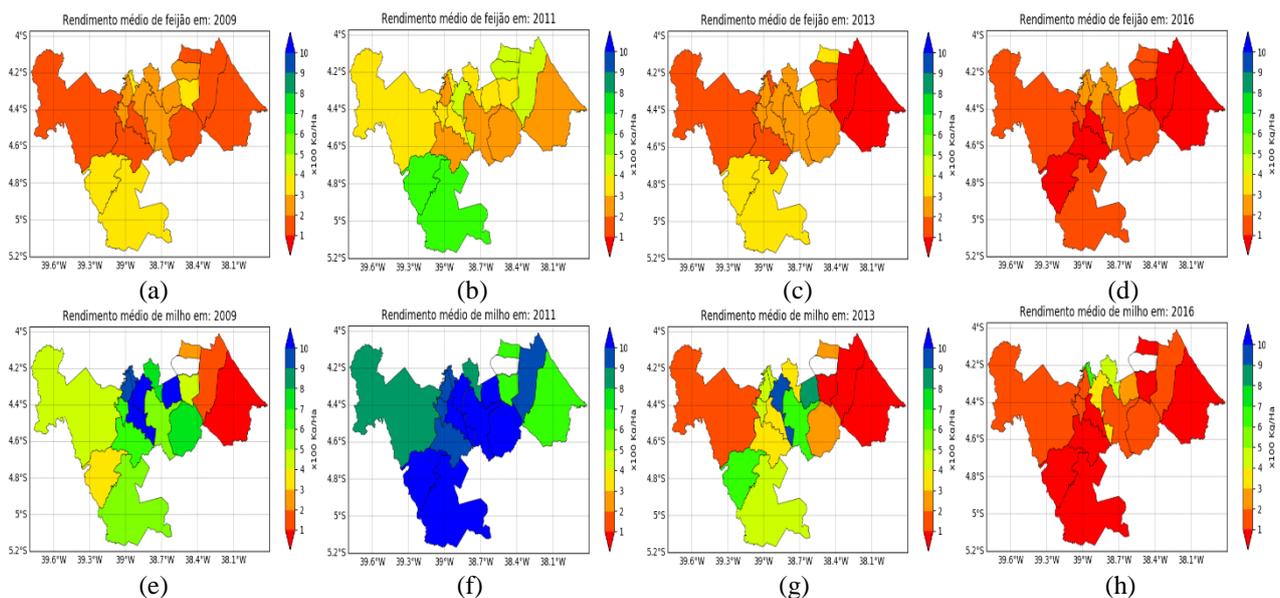


Figura 6 – Rendimento Médio (x100 kg/ha) de feijão (a) 2009, (b) 2011, (c) 2013, (d) 2016 e de milho (e)2009, (f) 2011, (g) 2013 e (h) 2016

O rendimento médio por hectare também apresentou redução para ambas culturas a partir de 2013 em decorrência dos eventos de seca. O ano de 2016 – que foi caracterizado com condições Normal no SPI-12 e Seca Moderada no SPI-48, detém os menores rendimentos médios da série para as duas culturas (ver Figuras 6(d) e 6(h)). A maior diferença foi observada no rendimento médio do milho entre os anos de 2011 e 2013, impacto ocorrido principalmente em função das condições moderadas de umidade e seca, atribuídas aos respectivos anos.

De acordo com o Pacto das Águas nas Bacias Metropolitanas (CEARÁ, 2009), os impactos socioambientais sofridos pelos municípios que compõe a MCH, são diversos. A segurança hídrica na MCH está, relativamente, sempre comprometida, em virtude da sua localização em uma região semiárida e a consequente ocorrência de períodos de estiagem prolongados. Aliados a fatores antrópicos e a má gestão pública dos recursos, há uma intensificação e propagação dos impactos provocados por toda a bacia.

Em Aracoiaba, por exemplo, a população tem sua segurança hídrica em risco, sendo este aliado também ao desperdício e má qualidade da água o que, por sua vez, impacta na saúde e qualidade de vida. Beberibe sofre um déficit na garantia de água, em quantidade e qualidade, problema decorrente da ausência de corpos hídricos que sejam capazes de abastecer o município (CEARÁ, 2009). Barreira vem sofrendo com a oferta hídrica reduzida em virtude das condições de escassez e atividades de mineração no leito do Rio Choró. A Figura 7(a) mostra alguns dos desequilíbrios sedimentares identificados em um trecho do rio na localidade de Cruz, em Barreira, decorrentes das atividades de extração de areia na calha fluvial. Em suma, em grande parte dos municípios que são atravessados pelo Rio Choró, se identifica as margens do respectivo afetadas com a ausência da mata ciliar. A ausência desta ocasiona processos erosivos, desmoronamentos das margens e o alargamento do leito – ver Figura 7(b), proporcionando maior evaporação dos recursos hídricos.



Figura 7 – (a) Desequilíbrio sedimentar identificado no Rio Choró em Cruz, Barreira, Ceará; (b) Desmatamento e assoreamento ao longo das margens do Rio Choró na localidade de Criançó, Barreira, Ceará. Fonte: COGERH (2015)

CONCLUSÕES

Através do cálculo do SPI na Microbacia do Rio Choró, foi identificada uma acentuada variabilidade interanual e decadal. Como a maior ocorrência de eventos intensos de seca aconteceram entre os anos de 2011 e 2018, foram avaliados os SPI-12 meses maio 2009, 2011, 2013, 2016 e SPI-48 meses maio 2016. Para o ano de 2009 e 2011, foram observadas na região compreendida pela MCH condições de Umidade Extrema e Umidade Moderada, respectivamente. O ano de 2013 apresentou condições de Seca Moderada. Essa mesma condição foi identificada em 2016 no SPI-48 meses, que por ser de escala maior implica em uma seca mais agravante e de forte impacto na disponibilidade hídrica da região, já a condição Normal foi mostrada no SPI-12 meses para o mesmo ano.

O déficit hídrico indicado pelo SPI-48 em 2016, impactou no efetivo dos rebanhos (totais bovinos, ovinos e caprinos), reduzindo o número de cabeças em relação a 2006. No setor agrícola, se observou que a partir de 2013 as quantidades produzidas em toneladas para as culturas de feijão e milho sofreram reduções na maioria dos municípios banhados pela MCH. Entre os anos de 2011 e 2013 destacou-se uma notável diferença nas quantidades produzidas para o cultivo de milho em virtudes das respectivas condições de Umidade Moderada e Seca Moderada. Em virtude disso, o ano de 2011 também deteve as maiores quantidades produzidas para as duas culturas. Da mesma forma, devido as condições caracterizadas pelo SPI, o rendimento médio por hectare também foi reduzido para ambas culturas a partir de 2013. O ano de 2016 deteve os menores rendimentos médios da série para o feijão e milho. A maior diferença foi observada no rendimento médio do milho também entre os anos de 2011 e 2013.

De acordo com o Pacto das Águas nas Bacias Metropolitanas (CEARÁ, 2009), os impactos socioambientais sofridos pelos municípios que compõe a MCH são diversos. A segurança hídrica na MCH está, relativamente, sempre comprometida, em virtude da sua localização em uma região semiárida e a consequente ocorrência de períodos de estiagem prolongados. Aliados a fatores antrópicos e a má gestão pública dos recursos, há uma intensificação e propagação dos impactos provocados por toda a bacia. Destaca-se em alguns municípios a insegurança hídrica da população, o que, por sua vez, provoca um déficit na garantia de água, em quantidade e qualidade e a oferta hídrica reduzida em virtude das condições de escassez e atividades de mineração no leito do Rio Choró.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os apoios institucional e logístico oferecidos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela Fundação Cearense de Apoio ao

Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

REFERÊNCIAS

CANAMARY, E. A.; REIS JUNIOR, D. S.; MARTINS, E. S. P. R. (2015). “Avaliação dos índices SPI e SPEI no monitoramento de secas no nordeste setentrional do Brasil” in Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, 2015.

CEARÁ, ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA (2009). “Caderno regional das bacias Metropolitanas. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos”. Fortaleza: INESP, 2009. 136 p.

CEARÁ, SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS (2015). “Plano de Gerenciamento das águas das Bacias Metropolitanas. Relatório de Fase I Diagnóstico e estudos básicos Tomo I”. Fortaleza: COGERH, 2015. 314 p.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L.; AMORIN, A. O.; CARDOSO, A. S. (2009). “Índices para a Quantificação da Seca”. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 48 p.

GUEDES, R. V. S.; MACEDO, M. J. H.; SOUSA, F. A. S. (2012). “Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento”. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, São Paulo, 23, pp. 55-65.

GUTTMAN, N. B. (1999). “Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm”. Journal of the American Water Resources Association, 35(2), pp. 311-322.

MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. (1993). “The relationship of drought frequency and duration to time scales” in Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, C.A., Jan. 1993, pp. 179–184.

MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. (1995). “Drought monitoring with multiple time scales” in Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology, Boston, 1995, pp. 233–236.

NDMC (2014). “Program to Calculate Standardized Precipitation Index”. National Drought Mitigation Centre. University of Nebraska, Lincoln, 2014.

SUASSUNA, A.S.A.; MAIA, A.G. (2017). “Aplicação do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) para identificação de Períodos de Seca no Rio Grande do Norte” in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, Santa Catarina, Nov. 2017.

THOM, H. C. S. (1966). “Some methods of climatological analysis”. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, 53 p.

TUNDISI, J. G. (2008). “Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções”. Estudos Avançados, 22(63), pp. 7-16.

WU, H.; HAYES, M.J.; WILHITE, D.A.; SVOBODA, M.D. (2005). “The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation”. International Journal of Climatology, 25, pp. 505–520.