



IMPACTOS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA PRODUÇÃO, PRODUTIVIDADE E ÁREA PLANTADA DO MILHO NO ESTADO DO CEARÁ

IMPACTS OF PLUVIOMETRIC PRECIPITATION ON THE PRODUCTION, PRODUCTIVITY AND PLANTED AREA OF CORN IN THE STATE OF CEARÁ

IMPACTOS DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIOMÉTRICA EN LA PRODUCCIÓN, PRODUCTIVIDAD Y ÁREA PLANTADA DEL MAÍZ EN EL ESTADO DEL CEARÁ

DOI 10.33360/RGN.2318-2695.2019.i3.p.165-184

Matheus Oliveira de Alencar

Graduado em Economia pela Universidade Regional do Cariri (URCA)
Mestrando em Economia Rural pela Universidade Federal do Ceará (UFC)
E-mail: matheusalencar29@gmail.com

Antonio Bruno Fernandes Marcelino

Graduando em Economia pela Universidade Regional do Cariri (URCA)
E-mail: brunnofernandes@outlook.com

Wellington Ribeiro Justo

Doutor em Economia Aplicada (PIMES - UFPE)
Professor do Departamento de Economia da Universidade Regional do Cariri (URCA)
Professor do PPGECON - UFPE
E-mail: justowr@ahoo.com.br

Francisco Aquiles de Oliveira Caetano

Graduado em Economia pela Universidade Federal do Ceará (UFC)
Mestrado em Economia Rural pela Universidade Federal do Ceará (UFC)
E-mail: aquilescaetano@yahoo.com.br

RESUMO:

No semiárido a chuva é um elemento de suma importância para o plantio das culturas que são adaptadas ao solo pouco desenvolvido da região. Dentre estas, o milho figura-se entre as culturas energéticas mais produzidas nacionalmente, inclusive no Ceará. Tendo em vista que o clima exerce o papel de principal regulador da atividade agrícola, influenciando em todas as etapas do processo produtivo, esse trabalho busca relacionar a produção de milho do Ceará com o nível pluviométrico deste mesmo estado, utilizando dados de natureza secundária provenientes da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Nesse estudo utilizou-se o método VAR (Vetor Auto-Regressivo). Os resultados apontaram que a seca tem um efeito na produção e produtividade e, com menor impacto, na área plantada. Também se observou que a seca tem ocorrido com frequência em mais de um ano consecutivo.

Palavras-chave: Precipitação Pluviométrica; Milho; Ceará.

ABSTRACT:

The rainfall in the semi-arid is an element of paramount importance for the agricult crops that are adapted to the underdeveloped soil of the region. Among these, maize is among the most produced energy crops in Brazil, including in Ceará. Considering that the climate plays the main regulator of agricultural activity, influencing all stages of the production process, this work tries to relate the production of maize from Ceará to the rainfall level of this state using data of secondary nature of the Companhia Nacional de Abastecimento

(CONAB) and of the Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). In this study, the VAR (Vector Autoregression) method was used. The results showed that drought has an effect on production and productivity and, with less impact, on planted area. It has also been observed that drought has occurred frequently in more than a consecutive year.

Keywords: Rainfall; Corn; Ceará.

RESUMEN:

En el semiárido la lluvia es un elemento de suma importancia para la siembra de las culturas que se adaptan al suelo poco desarrollado de la región. Entre ellas, el maíz se encuentra entre los cultivos energéticos más producidos nacionalmente, incluso en Ceará. En vista de que el clima ejerce el papel de principal regulador de la actividad agrícola, influyendo en todas las etapas del proceso productivo, este trabajo busca relacionar la producción de maíz de Ceará con el nivel pluviométrico de este mismo estado, utilizando datos de naturaleza secundaria provenientes de la Compañía Nacional de Abastecimiento (CONAB) y de la Fundación Cearense de Meteorología y Recursos Hídricos (FUNCEME). En este estudio se utilizó el método VAR (Vector Auto-Regresivo). Los resultados apuntaron que la sequía tiene un efecto en la producción y productividad y, con menor impacto, en el área plantada. También se observó que la sequía ha ocurrido con frecuencia en más de un año consecutivo.

Palabras clave: Precipitación Pluviométrica; Maíz; Ceará.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem sido frequente a discussão, bem como a divulgação de relatórios de alerta por autoridades científicas, a respeito da ação antrópica e sua influência no clima do planeta. O avanço industrial observado sobremaneira a partir de meados do século XX acelerou a emissão de gases poluentes, que estariam potencializando o chamado efeito estufa, que vem impedindo que a energia calorífica retorne para fora da atmosfera, resultando em fortes mudanças climáticas (SARMENTO, 2007).

Sleiman (2008) define que o clima é composto por um conjunto de elementos integrados que são determinantes para a vida na Terra, e que o mesmo pode tanto facilitar como dificultar a fixação do homem em uma região, assim como o desenvolvimento de suas atividades. Para o autor, dentre todos os elementos climáticos, a precipitação pluviométrica tem um papel preponderante no desenvolvimento das atividades humanas, visto que exerce grande influência na esfera econômica.

O semiárido brasileiro consiste em uma região com dimensão continental, que apresenta considerável heterogeneidade climática, com médias pluviométricas anuais oscilando entre 300 e 800 mm/ano, a depender da área observada (CONTI, 2005). Apesar de ter uma média pluviométrica consideravelmente mais baixa do que o restante do país, a região semiárida brasileira é uma das mais chuvosas dentre as demais regiões semiáridas do mundo, apresentando pluviosidade média de 750 mm/ano (SANTIAGO *et al.*, 2013; ZANELLA, 2014). Ainda segundo Santiago *et al.* (2013), existe déficit hídrico, mas isso não significa falta de água, pois o principal problema da região é a elevada evapotranspiração (3.000 mm/ano) e a precipitação irregular, que tornam a chuva um

elemento de suma importância para o plantio das culturas que são adaptadas ao solo pouco desenvolvido da região.

Para o IPECE (2009), o plantio de culturas agrícolas, independente da região, está condicionado ao regime de chuvas e a fertilidade do solo explorado, mas nas regiões tropicais a precipitação pluviométrica é a principal variável que determina a duração do período de desenvolvimento das atividades e a produtividade do setor agrícola, sendo necessário, portanto, um bom volume de chuvas bem distribuídas.

Como a agricultura tem grande importância na vida de milhares de famílias brasileiras, em especial do semiárido nordestino, é fundamental a adoção de técnicas agrícolas que proporcionem o aumento da produtividade das culturas. Uma boa estratégia é a escolha da época ideal para o plantio, seja do milho ou de qualquer outro produto, pois isso contribuirá para que o desenvolvimento da planta não seja comprometido (SANTIAGO *et al.*, 2013).

Conforme Cantele (2009), o milho é uma planta originária da América, mais especificamente do Vale Central do México, e possui múltiplas utilizações, como na alimentação humana, na alimentação de animais de criação, ou ainda, como matéria prima no setor industrial, constituindo-se numa das culturas mais cultivadas do mundo.

Para Maldaner *et al.* (2014), o milho figura-se entre as culturas energéticas mais produzidas no Brasil, que se destaca por possuir alta competitividade na produção, devido, entre outros fatores, às condições agroclimáticas favoráveis, às técnicas especializadas de cultivo e aos estudos sobre as interferências na produção. Para os autores, o sucesso da produção brasileira está ligado ao planejamento da atividade, pois quanto mais eficiente for o planejamento rural menor serão os fatores de risco. No estado do Ceará, o milho é também uma das culturas mais produzidas, apresentando uma área cultivada 460,2 mil ha, na safra de 2015/2016, correspondente à produção de 163,8 mil toneladas (CONAB, 2017).

Para a sua máxima produtividade, o milho necessita de uma quantidade de chuva que gira em torno de 500 mm a 800 mm durante todo o ciclo, mas é possível obter uma boa produtividade com uma quantidade de chuvas que varie de 350 mm a 500 mm por ciclo, o que não ocorre com precipitações pluviométricas inferiores, sendo necessário o uso de irrigação (EMBRAPA, 2004).

Tendo em vista que o clima exerce o papel de principal regulador na atividade agrícola de produção do milho, influenciando em todas as etapas do processo produtivo, além do destaque dessa cultura na agricultura cearense, esse trabalho busca apreender a relação entre as variáveis seca, produção, produtividade e área plantada de milho no estado do Ceará.



Além desta seção introdutória, o presente artigo encontra-se dividido em mais quatro. Na segunda seção encontra-se uma breve revisão de literatura acerca dos aspectos climáticos das regiões semiáridas, enfocando o estado do Ceará, e uma breve caracterização da produção do milho. Na terceira seção tem-se a descrição da metodologia. Na quarta seção, são apresentados os resultados do modelo VAR (Vetor Auto-Regressivo) e suas análises. Por fim, na quinta seção, expõe-se a conclusão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O estado do Ceará, bem como toda região Nordeste, sempre despertou o interesse dos pesquisadores, não apenas por terem uma rica contribuição na cultura nacional, mas também por se tratarem de um espaço que historicamente apresenta sérios problemas de natureza social e econômica, ficando isso bem evidente quando estas áreas são comparadas a outras regiões do país. É consenso para muitos autores que esses problemas são em grande parte tidos como consequências trágicas de características climáticas desfavoráveis, características estas que atingem com mais severidade as regiões semiáridas. Logo, os efeitos econômicos e sociais negativos gerados com as secas são a principal característica que leva a desigualdade entre os estados nordestinos e os estados de outras regiões, principalmente das regiões Sul e Sudeste (CAMPOS, 1997; KHAN *et al.* 2005).

Atualmente, o semiárido brasileiro compreende 1.262 municípios, dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. A nova delimitação do semiárido estabelecida no ano de 2017 determina os seguintes critérios de classificação da região semiárida: precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; índice de aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50; e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (BRASIL, 2017).

Para Costa e Dantas (2012), o principal obstáculo para o desenvolvimento das atividades agrícolas no semiárido nordestino é a escassez de recursos hídricos. Esse problema é causado pela falta e irregularidade de chuva nessa região, e agravado pela carência de sistemas eficientes de armazenamento (ALENCAR *et al.* 2018).

O Ceará é um dos nove estados da região Nordeste, com um território aproximado de 149 mil km², do qual cerca de 92% se configura como sendo de áreas semiáridas. Dessa maneira, este estado também se encontra diretamente afetado pelos efeitos perversos das recorrentes secas características desse tipo de clima. Nos 8% restante do território cearense prevalecem os climas

tropical quente subúmido, tropical quente úmido e tropical subquente subúmido (KHAN *et al.* 2005; IPECE, 2007).

Quanto à precipitação pluviométrica, no estado do Ceará, especificamente, a média anual na última década foi cerca de apenas 570 mm, sendo muito mais baixa em algumas regiões específicas do estado, como os Sertões de Crateús. Esse baixo nível coloca o estado frequentemente em situações de calamidade climática (KHAN *et al.* 2005; FUNCEME, 2019).

Além disso, com base nos conhecimentos acumulados ao longo do tempo sobre clima, sabe-se que não é somente a escassez de chuvas o fator responsável pela oferta insuficiente de água em regiões semiáridas. A má distribuição chuvosa associada a uma alta taxa de evapotranspiração, são os principais fatores que acarretam no fenômeno da seca, visto que a evaporação, normalmente, é três vezes maior do que a precipitação ocorrida (FUNCEME, 2017).

No que se refere ao índice de aridez, a maior parte do território cearense apresenta valores abaixo de 0,50 (áreas caracterizadas com clima semiárido e subúmido seco). Isso significa que essas áreas possuem taxas muito elevadas de evaporação e evapotranspiração, o que, combinado à baixa e irregular pluviosidade, resulta em déficit hídrico ao longo do ano (FUNCEME, 2017; ALENCAR *et al.* 2018).

No tocante à vulnerabilidade do território cearense ao processo de desertificação, deve-se considerar aspectos como geologia, tipos de solo e vegetação. Em termos de geologia, o embasamento cristalino que predomina em cerca de 76% do território do estado, resulta em grandes limitações na disponibilidade de água subterrânea, dado que o armazenamento hídrico natural nessas condições é limitado. Quanto aos solos, a maior parte do estado consiste em solos rasos, que por suas características físicas, químicas, morfológicas e mineralógicas, são bastante suscetíveis à erosão. No que se refere à vegetação, a maior cobertura vegetal do Ceará é a Caatinga, uma formação caducifólia, comumente distribuída de modo esparso ou aberto, com fisionomia arbustiva, o que restringe a capacidade de proteção do solo contra os efeitos erosivos. Na identificação da Área Suscetível à Desertificação o estado do Ceará é classificado como 100% suscetível, ou seja, os 184 municípios do Ceará são suscetíveis à desertificação (FUNCEME, 2017; CAETANO, 2018).

Os efeitos da escassez de água no Ceará e em todas as áreas semiáridas do Nordeste, podem se apresentar de diversas maneiras, sendo comumente observados como o aumento do desemprego rural, da fome e da pobreza. Além disso, as secas podem provocar também a migração das famílias agricultoras de áreas afetadas para os grandes centros urbanos, contribuindo com a periferização desses centros, e conseqüentemente com o aumento da pobreza urbana e da violência (COSTA; DANTAS, 2012).



No cenário econômico, a seca representa, além da quebra da expectativa de produção evidenciada com a redução da produção agrícola da região, o imediato acréscimo nos preços dos alimentos básicos e a queda da demanda agregada, bem como a redução no nível de renda e ocupação rural, desdobrando-se sobre os demais setores econômicos, tais como comércio, indústria e serviços, com a consequente redução na arrecadação estadual e nas taxas de crescimento do estado ou da região (KHAN *et al.*, 2005, p. 3).

De acordo com Luna (2007), a pobreza é uma vertente da escassez hídrica causada pela seca, pois a água um dos elementos essenciais ao desenvolvimento e bem-estar das pessoas. Bosch *et al.* (2001) e Alencar *et al.* (2018) afirmam que a escassez hídrica resulta, também, na má alocação do capital humano da sociedade, uma vez que se considera o tempo despendido pelas pessoas, principalmente mulheres e crianças, na procura e na captação de água, o que resulta em prejuízo econômico e social. Deve-se mencionar um efeito secundário, ainda na fase de formação de capital humano, no caso do tempo despendido por crianças, que podem estar deixando de frequentar regularmente a escola.

Considerando as relações supracitadas entre clima, ambiente e pobreza, é possível supor que há constantemente, no estado do Ceará, uma situação econômico-social de iminente risco e vulnerabilidade, principalmente tendo-se em vista que grande parte da sua população e território estão apreendidas pelas circunstâncias típicas do clima semiárido, aliadas a características geomorfológicas que diminuem a disposição de retenção de água pelo ambiente. Uma das principais implicações decorrentes disso, é a forte concentração populacional na Região Metropolitana de Fortaleza, evidenciando a fuga das vulnerabilidades e da pobreza de regiões menos desenvolvidas do estado (IPECE, 2009).

Entretanto, também é importante salientar que os impactos desse conjunto de fatores presentes em áreas suscetíveis a desertificação (ADS), dependem da capacidade adaptativa e de ações realizadas que minimizem a dependência econômica de atividades influenciadas pelo clima (IPECE, 2009). Infelizmente, segundo Brasil (2004):

Uma imensa massa de pequenos agricultores descapitalizados, confinados em pequenas parcelas de terras de tais áreas (via de regra, de média ou baixa fertilidade natural), dependentes de seu trabalho para a produção de alimentos para autoconsumo, de forragens para seus animais, mas necessitando produzir excedentes comercializáveis, tenderá, naturalmente, a sobreutilizar os recursos naturais, contribuindo dessa forma para agravar os processos de degradação. Nas ASD, este círculo vicioso é agravado pela ocorrência de secas periódicas, que levam a perdas significativas e recorrentes de produção e de renda.

O estado do Ceará, por ser um estado localizado na região semiárida, possui um histórico de baixos e escassos índices pluviométricos, muitas vezes insuficientes para suprir as necessidades hídricas de culturas como milho e feijão, que representam a maioria da produção total de grãos do estado (IBGE, 2008).

A má distribuição temporal das chuvas no Ceará, caracteriza-se como a concentração das chuvas nos meses de fevereiro, março, abril e maio (intervalo de tempo conhecido como “quadra chuvosa”), e esse período compreende aproximadamente 80% da precipitação total anual dessas áreas (SALES *et al.* 2010 *apud* COSTA; DANTAS, 2012). Esse fenômeno acaba prejudicando e limitando a produção de várias culturas agrícolas, entre elas o milho.

Considerada uma cultura de verão, o milho necessita de umidade suficiente para sua germinação, caso contrário, a deficiência poderá acarretar em um grande número de plantas improdutivas, isto porque o grão transpira intensamente, sendo por isso exigente de muita água. Entretanto não é apenas na germinação que o milho necessita de uma boa quantidade de água. Para uma boa produtividade, o milho requer uma apropriada distribuição pluviométrica durante todo o ciclo de formação da planta (EMBRAPA, 2004; CANTELE, 2009).

Além disso, as altas temperaturas observadas durante o dia no Ceará, também prejudicam o desenvolvimento do milho, pois, para Cantele (2009), durante as temperaturas mais elevadas do dia, a planta sofre um estresse hídrico, isto é, as raízes enfrentam dificuldade para repor a água perdida na transpiração, afetando a fotossíntese, o ciclo de gás carbônico e podendo afetar também a produtividade, dependendo da duração deste estresse.

No entanto, vale destacar que, apesar de sua origem tropical, com a utilização de tecnologias adequadas, é possível cultivar o milho em faixas terrestres com condições climáticas diferentes (CANTELE, 2009). Segundo a autora, há uma variedade de culturas, como por exemplo, a cultura precoce que se adapta melhor às zonas temperadas de verão curto e dias longos, cuja colheita pode ser efetuada aos três meses, e a cultura tardia que se adapta melhor às regiões equatoriais úmidas, cuja colheita pode ser feita a partir de dez meses.

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de abrangência do presente estudo é o Estado do Ceará. O Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil, é composto por 184 municípios, possuindo uma extensão de cerca de 148.825,6 km², com uma população de 8.448.055 habitantes em 2010 (IBGE, 2010; IPECE, 2016).



Segundo dados do IPECE (2016), este estado representa 9,57% da área da região Nordeste e 1,74% da área do território brasileiro.

Figura 01: Mapa da Posição Geográfica, Dimensões e Limites do Estado do Ceará



Fonte: IPECE, 2007

3.2 FONTE DE DADOS E DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Para a execução desse trabalho foram utilizados dados de natureza secundária, provenientes da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). A periodicidade das séries de dados é anual e o período de abrangência das mesmas compreende os anos de 1976 a 2013, limitando-se a este último ano devido a indisponibilidade de dados mais recentes.

As variáveis utilizadas na análise, bem como suas respectivas abreviações, periodicidades e fontes estão descritas no quadro 1.

Quadro 1: Descrição das Variáveis

Variável	Abreviação	Periodicidade	Fonte
Anos de seca	Dseca	1976-2013	FUNCEME
Produção de milho no Ceará	ProdMCE	1976-2013	CONAB
Produtividade do milho no Ceará	ProtMCE	1976-2013	CONAB
Área plantada de milho no Ceará	AMCE	1976-2013	CONAB

Fonte: Elaboração própria

3.3 MÉTODO DE ANÁLISE

Para alcançar o objetivo central deste trabalho, de analisar a relação entre a seca e a produção, produtividade e área plantada de milho no estado do Ceará, utilizou-se um modelo de Vetores Autorregressivos (VAR). Nesse sentido, fez-se inicialmente, para verificar a adequabilidade do modelo, uma análise descritiva dos dados, os testes de raiz unitária (Dickey-Fuller e Phillips-Perron) e o teste de Cointegração de Johansen. Logo após, estimou-se o modelo Vetorial Autorregressivo (VAR), apresentado na forma de função impulso-resposta. Por fim, para validação dos resultados estimados, foram executados outros testes (teste de Multiplicador de Lagrange) para autocorrelação dos resíduos, teste de estabilidade do modelo e teste de normalidade dos resíduos de Jarque-Bera.

3.3.1 Teste de raiz unitária: Dickey-Fuller aumentado e Phillips-Perron

Estudos com tratamento de variáveis de séries de tempo, deve-se inicialmente analisar a estacionariedade da série. Segundo Gujarati e Porter (2011), um processo estocástico será chamado de estacionário se sua média e variância forem constantes ao longo do tempo e o valor da covariância entre os dois períodos de tempo depender apenas da distância, do intervalo ou da defasagem entre os dois períodos.

Nesse sentido, para que o processo estocástico seja estacionário, é necessário satisfazer as seguintes propriedades:

$$\text{Média:} \quad E(Y_t) = \mu \quad (1)$$

$$\text{Variância:} \quad \text{Var}(Y_t) = E(Y_t - \mu)^2 = \sigma^2 \quad (2)$$

$$\text{Covariância:} \quad \gamma_k = E[(Y_t - \mu)(Y_{t+k} - \mu)] \quad (3)$$



em que γ_k , a covariância (ou autovariância) na defasagem k , é a covariância entre os valores de γ_t e γ_{t+k} . Os procedimentos utilizados neste trabalho para verificar a prevalências de tais propriedades foram os testes de Dickey-Fuller e Phillips-Perron.

3.3.2 Modelo vetorial autorregressivo (var)

A proposta do modelo de Vetor Autorregressivo (VAR) foi elaborada como alternativa aos modelos estruturais multe equacionais. É bastante utilizado em estudos sobre séries de tempo na economia agrícola, podendo-se citar, Barros (1994), Barros e Bittencourt (1997), Alves e Bacchi (2004), Mayorga *et al.* (2007), Silva e Machado (2009), Melo *et al.* (2016) e Souza *et al.* (2017).

Segundo Alves e Bacchi (2004), o uso do modelo VAR permite a obtenção de elasticidades de impulso para k períodos à frente. Essas elasticidades de impulso possibilitam a avaliação do comportamento das variáveis em resposta a choques (inovações) individuais em quaisquer dos componentes do sistema, podendo-se assim analisar, através de simulação, efeitos de eventos que tenham alguma probabilidade de ocorrer. Entretanto também apresenta limitações, pelo fato de ter uma estrutura recursiva para as relações contemporânea entre as variáveis.

Segundo Justo e Lima (2007), o modelo VAR foi desenvolvido considerando todas as variáveis simetricamente. Dessa forma, não se faz hipóteses *ex ante* de quais variáveis são endógenas e quais são exógenas. Em geral para a construção de um VAR seguem-se os seguintes passos: escolha das variáveis (devem ser endógenas¹); testar o comprimento da defasagem e a determinação da ordem de entrada das variáveis.

Por definição, o modelo VAR é um sistema de equações em que cada uma das variáveis que compõem o sistema é função dos valores das demais variáveis no presente, dos seus valores e dos valores das demais variáveis defasadas no tempo, mais o erro (ruído branco). É possível então, demonstrar que a estimação de um vetor autorregressivo nestes moldes será igual a uma estimação por mínimos quadrados ordinários de cada equação individualmente.

Na forma padrão um VAR mais simples com duas variáveis y e z e uma defasagem pode ser representado da seguinte forma:

$$y_t = b_{10} - b_{12}z_t + \gamma_{11}y_{t-1} + \gamma_{12}z_{t-1} + \varepsilon_{yt} \quad (4)$$

¹ As variáveis nestes modelos, geralmente, são tratadas como endógenas, de forma que cada uma das variáveis é explicada pelo seu valor defasado (excedido) e explicadas também, pelos valores defasados das outras variáveis que compõem o modelo (SOUZA *et al.* 2017).

$$z_t = b_{20} - b_{21}y_t + \gamma_{21}y_{t-1} + \gamma_{22}z_{t-1} + \varepsilon_{zt} \quad (5)$$

admitindo que y_t e z_t são estacionários; ε_{yt} e ε_{zt} são erros “ruído branco” com desvios padrão σ_y e σ_z , respectivamente, as sequências $\{\varepsilon_{yt}\}$ e $\{\varepsilon_{zt}\}$ são erros não correlacionados “ruído branco”.

Deste modo, as equações (4) e (5) formam um VAR de primeira ordem no seu formato mais simples, já que o número de defasagem é igual a um. Segundo Justo e Lima (2007), o número de defasagens é determinado de forma que assegure que os erros sejam “ruído branco”, dessa maneira o sistema permite que y_t e z_t afetem-se mutuamente e que ε_{yt} e ε_{zt} representam choques em y_t e z_t . Portanto, o sistema é denominado primitivo, pois y_t tem efeito contemporâneo em z_t e, z_t tem efeito contemporâneo sobre y_t .

Para ser estável, o VAR tem que ser estacionário. Esta estabilidade está relacionada com ao fato de que os eventuais efeitos de choques desaparecem ao longo do tempo, ou seja, o sistema volta ao seu equilíbrio (SOUZA *et al.* 2017).

Pode-se obter o VAR padrão ou sistema reduzido através da forma matricial:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11}Y_{t-1} + a_{12}Z_{t-1} \\ a_{21}Y_{t-1} + a_{22}Z_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Vale destacar que um problema na estimação do VAR estrutural é que não se podem determinar todos os parâmetros a não ser que se faça restrições aos coeficientes dos elementos da matriz B. A ordem de entrada das variáveis no VAR é importante, pois determinará os parâmetros que serão excluídos.

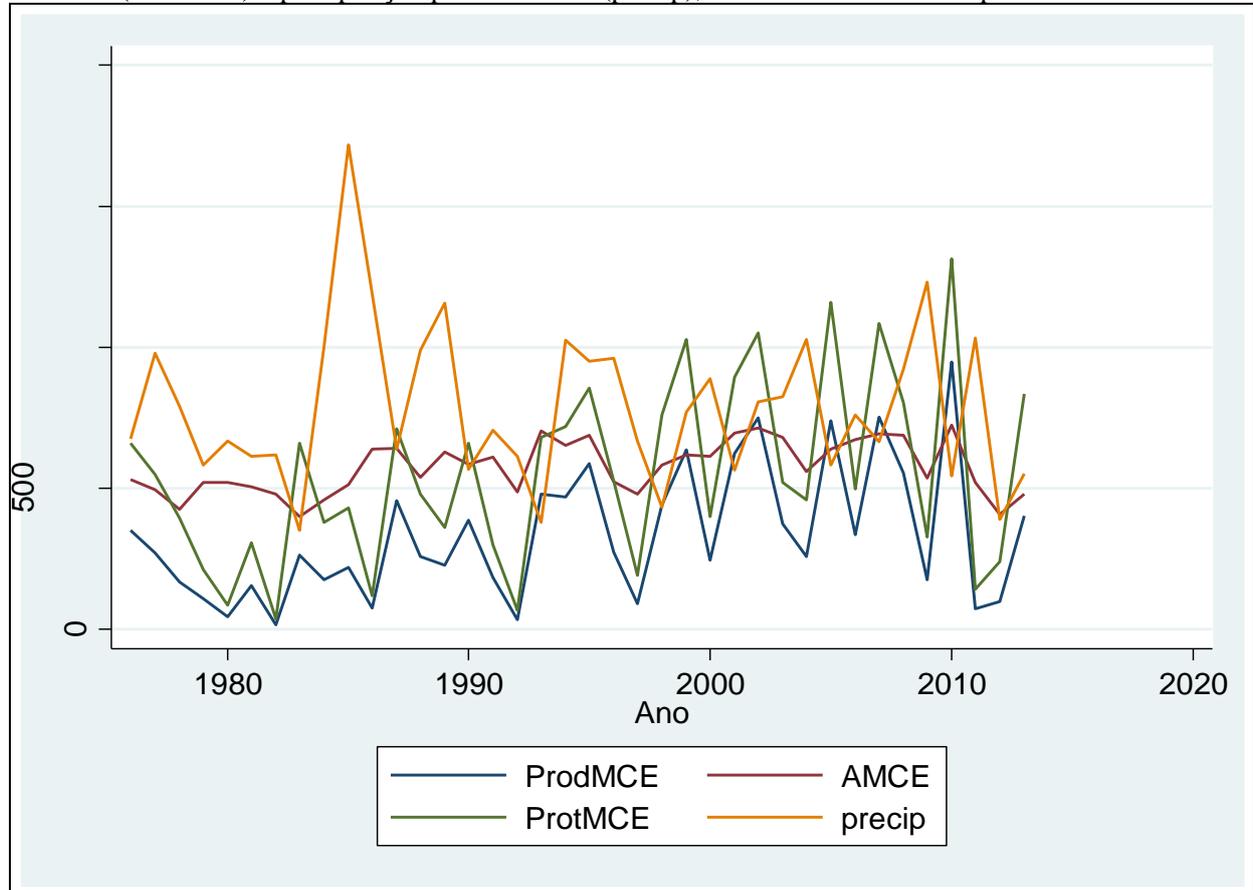
4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados do estudo. Inicialmente realiza-se uma observação acerca do comportamento das séries utilizadas na estimação do VAR, com intuito de se verificar a adequabilidade desse tipo modelo. Em seguida, apresenta-se as estimativas do modelo VAR na forma de função impulso-resposta, ou seja, o efeito de choques exógenos em cada uma das variáveis do modelo. Por fim, são demonstrados os resultados de alguns testes necessários para atestar a viabilidade do modelo.



Na figura 2 observa-se a trajetória das variáveis utilizadas no modelo. Apenas não aparece a variável anos de seca que entrou no modelo como uma *dummy*, isto é, uma variável binária que assume valor 1 em anos de seca e 0 nos demais anos. Assim, tem-se nessa figura a variável base para identificação dos anos de seca, que é a precipitação.

Figura 2: Trajetória da produção de milho (ProdMCE), área plantada de milho (AMCE), produtividade do milho (ProtMCE) e precipitação pluviométrica (precip), no estado do Ceará no período de 1976 a 2013



Fonte: Elaborado pelos autores com dados da Conab e da Funceme

Observa-se que, justamente a variável precipitação (precip) é a que apresenta as maiores oscilações. No sentido contrário, a área plantada de milho (AMCE) é a que apresenta menor oscilação. As demais variáveis também apresentam oscilações, mas se observa um indicativo que as séries são estacionárias, porém há necessidade de confirmação com os testes de raiz unitária.

Foram utilizados os testes de Dickey-Fuller e Phillip-Perron e em todas as opções testadas, isto é, com intercepto, com tendência e com intercepto e tendência a pelo menos cinco por cento, rejeitou-se a hipótese de existência de raiz unitária.

Em seguida foi realizado o teste para verificar a existência de cointegração entre as séries, apresentado na tabela 1. O teste utilizado foi o de Johansen (1988), o qual a hipótese nula consiste

na existência de cointegração entre as séries do modelo. O resultado apontou a inexistência de equações de cointegração, pois como os valores calculados são maiores que os valores críticos, como pode ser visto na tabela 1, rejeita-se a hipótese nula. Isso significa dizer que não há relação de longo prazo entre as variáveis, indicando a adequação para se estimar um modelo VAR. Assim, partiu-se para a realização do teste de identificação do número ótimo de defasagens no modelo.

Tabela 1: Teste de Cointegração de Johansen

	Autovalor	Valor calculado	Valor crítico (5%)
0	-	44,2653	29,68
1	0,42356	24,4332	15,41
2	0,36035	8,3472	3,76
3	0,20695	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da Conab e da Funceme

A tabela 2 apresenta o teste de identificação do número de defasagens no modelo VAR. Como pode ser visto, este teste apontou que o número ótimo de defasagens no modelo é três, utilizando-se os critérios FPE (*Final Prediction Error*) e AIC (*Akaike*), que são os critérios comumente empregado na maioria dos trabalhos que fazem uso desse método. Sendo assim, estimou-se o modelo VAR com três defasagens.

Tabela 2: Teste de identificação do número de defasagens no modelo VAR

Defasagens	LL	LR	df	p	FPE	AIC
0	-606,078	-			4,8e+10	35,946
1	-587,612	38,932	16	0,001	3,9e+10	35,742
2	-575,469	24,286	16	0,083	5,2e+10	35,969
3	-550,511	49,918*	16	0,000	3,4e+10*	35,442*
4	-542,104	16,813	16	0,398	6,7e+10	35,889

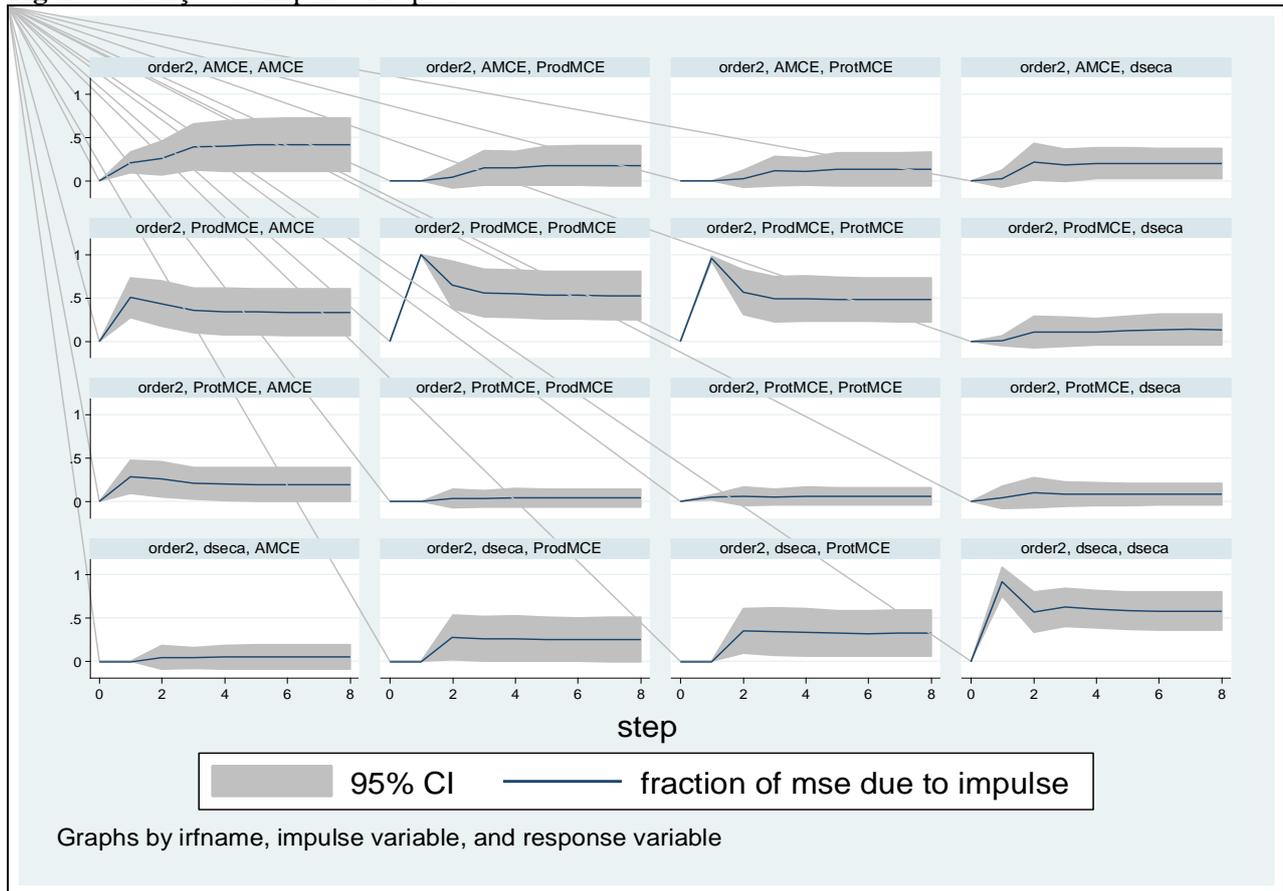
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da Conab e da Funceme

Os resultados do VAR são comumente apresentados na forma de tabela com as equações, com a função de Impulso-Resposta e decomposição da variância. Optou-se por utilizar nesse estudo a função de Impulso-Resposta.

A figura 3 traz a função de Impulso-Resposta, ou seja, o efeito de choques exógenos em cada uma das variáveis do modelo. A figura é composta por quatro linhas, onde cada linha traz o efeito em cada uma das variáveis dado um choque exógeno em uma variável do modelo. Assim, como o modelo é composto por quatro variáveis, tem-se dezesseis combinações linha-coluna, inclusive o efeito em uma variável dado um choque exógeno nela mesma. A sequência das variáveis nas linhas e colunas é: área plantada de milho no Ceará, produção de milho no Ceará, produtividade do milho no Ceará e ano de seca.



Figura 3: Função de Impulso-Resposta



Fonte: Elaborado pelos autores com dados da Conab e da Funceme

A primeira linha da figura 3 apresenta o choque externo da área plantada com milho nas variáveis do modelo. O maior efeito desse choque é na própria variável, que é o primeiro gráfico da primeira linha. Praticamente não se observa efeito desse choque nas demais variáveis (demais gráficos da primeira linha).

Na segunda linha da figura 3, tem-se o efeito de um choque externo da variável produção. Observa-se que há um efeito positivo nas demais variáveis, exceto na variável seca (último gráfico da segunda linha). Contudo, os maiores efeitos são na própria variável e na produtividade (segundo e terceiro gráficos da segunda linha, respectivamente).

A terceira linha traz o efeito do choque externo da produtividade nas demais variáveis. A produtividade tem um efeito na área plantada que se dissipa a partir do ano seguinte (primeiro gráfico da terceira linha). O efeito nas demais variáveis é muito baixo (demais gráficos da terceira linha).

Finalmente, na quarta linha da figura 3, tem-se o efeito do choque externo da seca sobre as variáveis do modelo. Aqui, tem-se que o efeito na área plantada só ocorre a partir do ano seguinte (primeiro gráfico da quarta linha), o que intuitivamente é esperado. Contudo, os resultados mostram

o quão o agricultor é persistente na atividade, pois o efeito de um choque da variável seca tem um efeito pequeno na área cultivada com o milho no Ceará.

Já na produção e na produtividade (segundo e terceiro gráficos da quarta linha) observa-se uma queda, e em seguida uma elevação, indicando que nos anos seguintes o agricultor se deixa mover pelo efeito “teia de aranha”, ou seja, um ano de colheita ruim incentiva no ano seguinte buscar compensar a queda na produção anterior. Contudo, o maior efeito de um choque externo na variável seca é nela própria (quarto gráfico da quarta linha), ou seja, há indicativo de que a seca no estado do Ceará ocorre com frequência em mais de um ano consecutivo.

Os resultados da estimação do VAR precisam ser validados com a aplicação de testes de autocorrelação dos resíduos, de estabilidade do modelo e normalidade dos resíduos, os quais são apresentados a posteriori.

A tabela 3 expõe o teste para verificação de autocorrelação dos resíduos. Essa verificação é realizada por meio do teste LM (*Lagrange-multiplier test*), com hipótese nula de não correlação dos resíduos. O resultado desse teste apontou que os resíduos são não autocorrelacionados, uma vez que não se rejeita a hipótese nula (valor prob. > 0,10). Assim, por esse critério, os resultados do VAR são válidos, conforme estabelecido por Bueno (2011).

Tabela 3: Teste LM de Autocorrelação dos Resíduos

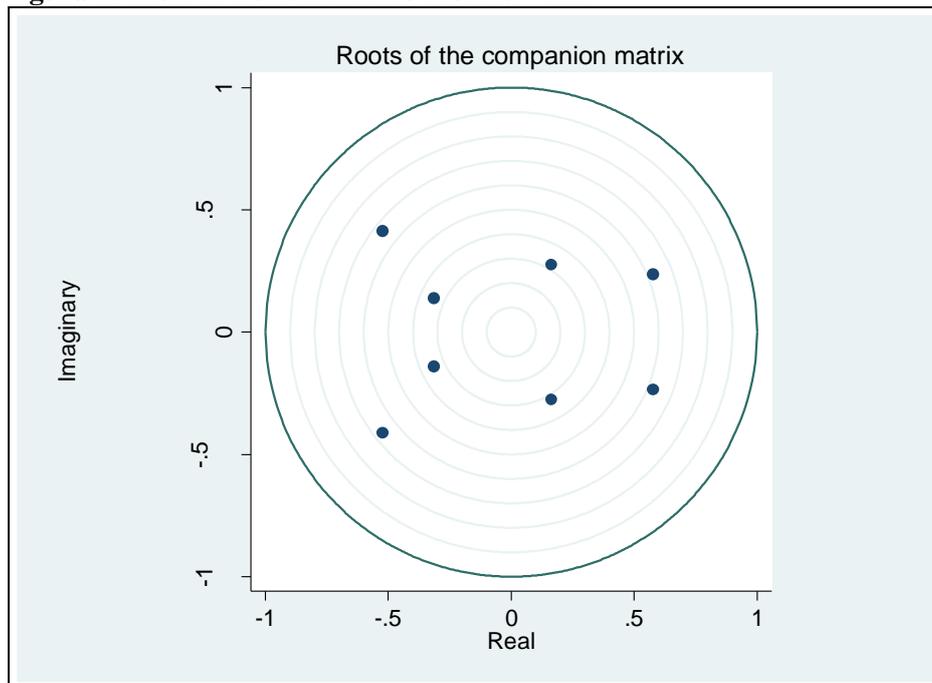
Defasagem	Chi2	df	Prob.
1	10,7805	16	0,8228
2	14,1891	16	0,5846
Hipótese nula	Não autocorrelação dos resíduos		

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da Conab e da Funceme

A figura 4 traz o resultado do teste de estabilidade do modelo. Esse teste serve para verificar se não há raiz unitária após a estimação. É um dos pressupostos do modelo. Como pode ser visto todas as raízes unitárias estão dentro do círculo unitário. Sendo assim, por este critério, o modelo também é válido.



Figura 4: Teste de Estabilidade do Modelo VAR



Fonte: Elaborado pelos autores com dados da Conab e da Funceme

A tabela 4 traz o resultado do teste para verificação da normalidade ou não dos resíduos do modelo. Para realizar essa verificação emprega-se o teste Jarque-Bera, para o qual a hipótese nula consiste na normalidade na distribuição dos resíduos, necessária para a validade das estimativas do VAR (BUENO, 2011).

Tabela 4: Teste Jarque-Bera de Normalidade dos Resíduos do VAR

Séries	Chi2	df	Prob.
ProdMCE	2,367	2	0,3062
ProtMCE	4,176	2	0,1239
AMCE	0,411	2	0,8143
Dseca	1,371	2	0,5039
Todas	8,235	8	0,4023

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da Conab e da Funceme

Como se observa, para todas as séries utilizadas na estimação do VAR, não se rejeita a hipótese nula da normalidade dos resíduos (valor prob. > 0,10). Sendo assim, pode-se dizer que os resíduos seguem uma distribuição normal, atestando a validade das estimativas do modelo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É sabido que nas últimas décadas o estado do Ceará tem apresentado vários anos de seca. Esse fenômeno secular afeta a produção agrícola, o fornecimento de água para consumo humano e dos animais e, por conseguinte, a renda do agricultor, notadamente o agricultor familiar que planta em regime de sequeiro.

Este estudo buscou estimar um modelo de Vetor Auto-regressivo (VAR) para apreender a relação entre as variáveis seca, produção, produtividade e área plantada de milho no estado do Ceará. Os resultados apontaram que a seca tem impacto na produção, na produtividade e, em menor escala, na área plantada. Também se observou que a seca tem ocorrido com frequência em mais de um ano consecutivo.

Os testes de normalidade, estabilidade e autocorrelação apontaram a validade do modelo estimado. O teste de causalidade de Granger apontou a seca como variável que afeta as demais variáveis do modelo no sentido de Granger.

Dessa forma, tendo em vista a importância da cultura do milho para sobrevivência da agricultura familiar no Ceará, fica evidente a necessidade de atuação conjunta dos órgãos de assistência técnica, de pesquisa e dos bancos que financiam a produção, para que os agricultores tenham as melhores condições possíveis para o desenvolvimento de sua atividade, como por exemplo, tendo acesso a sementes de variedades mais adaptadas a estiagem, incentivos na forma de crédito, ensinamento de técnicas agrícolas adequadas ao clima, dentre outras formas de contribuição.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, M. O. *et al.* Os Efeitos do Programa “Uma Terra e Duas Águas (P1+2)” sobre a Qualidade de Vida do Pequeno Produtor Rural do Semiárido Nordeste. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 49, n. 1, p. 165-180, 2018.

ALVES, L. R. A.; BACCHI, M. R. P. Oferta de exportação de açúcar do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 1, p. 9-33, 2004.

ANDRIGUETO, J. R.; KOSOSKI, A. R. Desenvolvimento e conquistas da produção integrada de frutas no Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO, 2, 2004, Pelotas. **Anais eletrônicos...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004.

ARAÚJO, V. F. S.; CAMPOS, D. F. A cadeia logística do melão produzido no Agropolo Fruticultor Mossoró/Açu. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 505-529, 2011.



BARROS, G.S. de C. Formação de preços no setor de frango de corte no Brasil. **Relatório de Pesquisa**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. 1994.

BARROS, G.S. de C.; BITTENCOURT, M.V.L. Formação de preços sob oligopsônio: o mercado de frango em São Paulo. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 51, n. 2, p. 181-199, 1997.

BOSCH, C.; HOMMANN, K.; SADOFF, C.; TRAVERS, L. Agua, saneamiento y la pobreza. **World Bank**, 1999.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. Delimitação do Semiárido. 2017.

BRASIL, PAN. **Programa de ação nacional de combate à desertificação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2004.

BUENO, Rodrigo de Losso da Silveira. **Econometria de séries temporais**. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

AMPOS, José Nilson Bezerra. Vulnerabilidades hidrológicas do semi-árido às secas. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 16, 2009.

CAETANO, F. A. O. **Desertificação e governança nas comunidades rurais da ASD do Sertão dos Inhamuns, Ceará**. 2018. 125 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

CANTELE, E. F. **Desempenho da cultura de milho em diferentes épocas de cultivo no sudoeste paulista**. 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 07 de março de 2016.

_____. **Safras: séries históricas**. 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcSConteudos=3#A_objcSConteudos>. Acesso em: 17 out. 2019.

CONTI, J. B. A questão climática do nordeste brasileiro e os processos de desertificação. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 7-14, 2005.

COSTA, L. R. F.; DANTAS, S. P. Clima e a Problemática das Secas no Ceará: um novo olhar sobre os grandes reservatórios e o avanço da desertificação. **Revista GEONORTE**, Edição Especial 2, v. 2, n. 5, p. 1034-1042, 2012.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de segurança e qualidade para a cultura do milho**. Brasília, 2004.

FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. A Crise Hídrica e a Questão da Estiagem no Estado do Ceará. 2017. Disponível em: <https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2017/06/funceme_margareth_29_reuniao_concidades.pdf>. Acesso em: 18 de outubro de 2019.

FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Disponível em <<http://www.funceme.br>>. Acesso em: 17 de outubro de 2019.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 07 de maio de 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Municipal 1990-2007. Rio de Janeiro. IBGE. 2008.

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. A influência do clima no desempenho da economia cearense. Texto para discussão n° 56. Fortaleza, 2009.

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Ceará em Mapas. 2007. Disponível em <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/lista/index.htm>>. Acesso em: 17 de outubro de 2019.

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 07 de maio de 2016.

JOHANSEN, Søren. Statistical analysis of cointegration vectors. **Journal of economic dynamics and control**, v. 12, n. 2-3, p. 231-254, 1988.

JUSTO, W. R.; LIMA, R. C. Relações de curto e longo prazo entre as economias dos estados: Bahia, Pernambuco e Ceará: 1970-2000. **Economia e Desenvolvimento**, n. 19, 2007.

KHAN, A. S. *et al.* Efeito da Seca Sobre a Produção, a Renda e o Emprego Agrícola na Microrregião Geográfica de Brejo Santo e no Estado do Ceará. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza - CE, v. 36, n. 2, p. 242-162, 2005.

LUNA, R. M. **Desenvolvimento do índice de pobreza hídrica (IPH) para o semi-árido brasileiro**. 2007. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

MALDANER, L. J. *et al.* Exigência Agroclimática da Cultura do Milho. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 13-23, 2014.

MAYORGA, R. O. *et al.* Análise de transmissão de preços do mercado atacadista de melão do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, n. 3, p. 675-704, 2007.

MELO, A. F. *et al.* Cointegração e Transmissão de Preços na Avicultura em Pernambuco: Milho, Soja e Preço da Carne de Frango. **Informe Gepec**, v. 20, n. 1, 2016.

PINHEIRO, A. M.; HERREROS, M. M. A. G. Fluxos de Capitais e Componentes Macroeconômicos: análise de inter-relações através da aplicação de um modelo de vetores autorregressivos (VAR). In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 33. 2005, Natal. **Anais...** Natal: Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia, 2005.

SANTIAGO, F. S.; DIAS, I. C. G. M.; JALFIM, F. T.; SILVA, N. C. G.; BLACKBURN, R. M.; FREITAS, R. R. L.; NANES, M. B. Variabilidade Pluviométrica em Agricultura de Sequeiro no Sertão do Pajeú-PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento



Gonçalves - RS. **Anais eletrônicos...** Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

SARMENTO, F. J. Mudanças Climáticas: Impactos Sociais, Econômicos e Ambientais no Semiárido Brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo - SP. **Anais eletrônicos...** São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007.

SILVA, C. A. G.; FERREIRA, L. R.; ARAÚJO, P. F. C. Crescimento do Produto Agropecuário: uma aplicação do vetor auto-regressivo (VAR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 44, 2006, Fortaleza - CE. **Anais...** Fortaleza: SOBER, 2006.

SILVA, F. M.; MACHADO, T. A. Transmissão de preços da soja entre o Brasil e os estados unidos no período de 1997 a 2007. **Economia e Desenvolvimento**, n. 21, 2009.

SLEIMAN, J. **Veranicos ocorridos na porção noroeste do Estado do Rio Grande do Sul entre 1978 e 2005 e sua associação às condições climáticas na atmosfera.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 2008.

SOUZA, S. F. *et al.* Mecanismo de transmissão de preços: uma análise sobre as exportações brasileiras de melão. **Economia Aplicada**, v. 21, n. 1, p. 95, 2017.

SULIANO, D.; MAGALHÃES, Klinger Aragão; SOARES, Rogério Barbosa. A influência do clima no desempenho da economia cearense. **IPECE, Texto para Discussão**, n. 56, 2009.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, Volume Especial, n. 36, p.126-142, 2014.

Recebido em 28 de Julho de 2018
Aprovado em 20 de Outubro de 2019