

**AGRICULTURA RESILIENTE AO CLIMA NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DO
CEARÁ, BRASIL**
**CLIMATE RESILIENT AGRICULTURE IN THE SEMI-ARID REGION OF CEARÁ
STATE, BRAZIL**

José de Jesus Sousa Lemos

Filiação: Professor do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural (PPGER) da
Universidade Federal do Ceará– UFC. Coordenador do Laboratório do Semiárido (L@bSar).

Pesquisador Bolsista de Produtividade do CNPq

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1460-0325>

E-mail: lemos@ufc.br

Filimena Nádia Rodrigues Bezerra

Filiação: Professora Adjunta da Universidade Federal do Ceará

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4496-8190>

E-mail: nadiarodrigues-3@hotmail.com

GT7. Desenvolvimento rural, territorial e regional

Resumo:

Este estudo visa avaliar a agricultura resiliente ao clima (CRA) na zona semiárida cultivada como lavouras alimentares de sequeiro no estado do Ceará, Brasil. Para fazer isso, a pesquisa tem como objetivos específicos: a) classificar a distribuição da pluviosidade do Ceará de 1901 a 2020 em três períodos: seca, normal e chuvoso; b) examinar os anos de ocorrência desses períodos entre 1945 e 2020; c) avaliar o comportamento da produção de arroz, feijão, mandioca e milho no Estado em cada um desses períodos nos anos estudados; d) estimar as instabilidades da precipitação de chuvas, bem como as associadas às variáveis definidoras da produção das culturas estudadas; e) verificar se há existência de resiliência na produção destas culturas à ocorrência de secas, tal como definidas neste estudo. Os dados de pluviometria utilizados foram retirados da NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*), 2022. As informações das áreas colhidas, produtividades e valores da produção por hectare das lavouras estudadas são disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e cobrem o período 1945/2020. As instabilidades foram estimadas usando os coeficientes de variação (CV) das variáveis. Foi utilizada a análise fatorial para construir o índice de sinergia (SIN), para avaliar a interface que existe entre as variáveis utilizadas na mensuração da produção das culturas. As evidências encontradas comprovaram as instabilidades pluviométricas nas séries estudadas e que foi possível classificar a pluviometria do Estado em períodos seco, normal e chuvoso. Além disso, ficou demonstrada a existência de auto resiliência na produção das lavouras estudadas.

Palavras-chave Lavouras alimentares de sequeiro; Drought, Instabilidades da precipitação de chuvas; sinergia; Auto-resiliência

Abstract: This study aims to evaluate climate resilient agriculture (CRA) in the semi-arid zone cultivated as rainfed food crops in the state of Ceará, Brazil. The research has the following specific objectives: a) to classify the distribution of rainfall in Ceará from 1901 to 2020 into three periods: drought, normal and rainy; b) examine the occurrence years of these periods between 1945/2020; c) evaluate the behavior of rice, bean, cassava and corn production in the state in each of these periods; d) estimate the instabilities of rainfall, as well as those associated with the defining variables of the production of the studied crops; e) verify whether there is resilience in the production of these crops in response to the occurrence of droughts, as defined in this study. The rainfall data used was taken from NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*), 2022. Informations on harvested areas, yields and production values per hectare of the crops studied is available from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) and covers the period 1945 to 2020. Instabilities were estimated using the coefficients of variation (CV) of the variables. Factor analysis was used to construct the synergy index (SIN) to assess the interface between the variables used to measure crop production. The evidence found proved that the studied rainfall series was unstable and that it was possible to classify the state's rainfall

into drought, normal and rainy periods as supposed. In addition, the existence of self-resilience in the production of the crops studied was demonstrated.

Keywords: Rainfed food crops; Drought, Rainfall instability; Synergy; Self-resilience

1. Introdução

1. INTRODUÇÃO

A região Nordeste Brasileira é constituída por 1.793 municípios distribuídos em nove (9) estados. Em 2019 a população da região somava 57 milhões de pessoas, o que representa 28,1% da população brasileira. Essa é a região considerada mais pobre do país. O Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* em 2019 era de R\$18,359,79 o que equivalia a US\$4.653,82. Esse valor equivalia a 1,53 salários mínimos anualizados daquele ano (IBGE, 2021).

Conforme a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 2021), dos nove estados do Nordeste, metade tem mais de 85% de sua área caracterizada como semiárida. Dos municípios do Nordeste, 1.212 são reconhecidos oficialmente pelo Governo Federal como fazendo parte do clima semiárido. Esse clima é caracterizado pela prevalência de temperaturas elevadas, baixa umidade relativa do ar e regimes pluviométricos instáveis, tanto do ponto de vista temporal como espacial (Marengo & Bernasconi, 2015; Lemos, 2020; Lessa, 2023; Marengo et al., 2017; Salviano et al., 2020).

O Ceará é um dos estados mais pobres do Nordeste, com uma população de 9,13 milhões de pessoas em 2019, das quais 65,1% sobrevivem no semiárido. O PIB *per capita* do Estado em 2019 foi de R\$17.912,17 equivalente a US\$4.540,36 (1,50 salários mínimos anualizados). A média do PIB per capita dos municípios que fazem parte do semiárido do Ceará foi de R\$13.023,34 (1,09 salários mínimos) ou US\$3.301,14. Os PIB agrícolas dos municípios do semiárido do Ceará equivalem a 9,1% do PIB do Estado em 2019 (IBGE, 2019). Essa produção é, majoritariamente, advinda de agricultura de sequeiro, em que as lavouras de arroz, feijão, mandioca e milho são cultivadas em praticamente todos os estabelecimentos (IBGE, 2019).

À vista do exposto, as atividades agrícolas de sequeiro, que dependem exclusivamente da precipitação de chuvas, são de grande importância como promotoras de ocupação, provedoras renda monetária e de segurança alimentar para as famílias de agricultores que se dedicam à essas atividades. A utilização de tecnologias que mitigam os impactos das irregularidades pluviométricas, muito comuns na região semiárida brasileira, não está disponível para a maioria dos agricultores (Carvalho, 2010; IPECE, 2018; Gurjão, 2020). Estes fatos tornam a agricultura praticada na região semiárida, difícil de conduzir, bem como uma atividade muito sujeita a diversos riscos: econômicos, sociais e ambientais (Duque, 1973; Fischer et al., 2002; Rosenzweig & Hillel, 2005; Thornton et al., 2008; Obermaier, 2011; Beyer et al., 2016; Pereira, 2018; Costa Filho, 2019; Lemos et al., 2020; Salviano, 2021).

Além disso, as gestões do solo e da água, nas áreas onde prevalece a agricultura de sequeiro, são identificadas como as principais limitações à manutenção da produção, da produtividade e da renda dessas culturas. Assim, a escassez de água causada pela ocorrência sistemática de secas desempenha um papel crucial, uma vez que induz vulnerabilidades que se repercutem na pobreza persistente em locais que coexistem com esta dificuldade, além de terem impacto na degradação dos recursos naturais e do ambiente, corroendo assim a produtividade das lavouras e da criação animal bem como enfraquecendo as estratégias de sobrevivência e a sua resiliência (Duque, 1973; Berkes, 2007; Deschênes & Greenstone, 2007; Fraiture et al., 2009; Mallari, 2016; Singh et al., 2018; Sathyan et al., 2018; GEF, 2019).

Por outro lado, sabe-se que os agricultores, em geral, e aqueles que cultivam culturas de sequeiro, em particular, no Nordeste brasileiro, desenvolvem estratégias de adaptação e

coexistência com as incertezas pluviométricas que são a sua regra desde que entraram nas atividades, quer seja através dos conhecimentos adquiridos dos seus pais e familiares, quer seja por meio de suas próprias experiências. Esta aprendizagem os leva a conceber estratégias adaptativas de sobrevivência nos períodos mais críticos, sendo um comportamento que pode ser identificado como auto-resiliência, porque é independente da ação de agentes externos, ou de políticas públicas. Funcionam como um mecanismo de auto-defesa para os agricultores que cultivam lavouras de sequeiro (Devendra, 2016; Machado, 2018; Praxedes, 2021).

Com base nestes fundamentos, esta investigação foi concebida e está ancorada no pressuposto de que as instabilidades observadas nas variáveis que definem a produção de algumas culturas alimentares, como arroz, feijão, mandioca e milho, no Ceará interagem com as instabilidades pluviométricas de forma diferenciada e que, não obstante esses fatos, os agricultores desenvolvem estratégias para se adaptarem a essas instabilidades.

Para avaliar esta hipótese, este estudo visa avaliar a agricultura resiliente ao clima (*Climate resiliente Agriculture - CRA*) cultivado na zona semiárida no estado do Ceará. Para tanto, os objetivos específicos são: a) classificar a distribuição da precipitação de chuvas em três períodos: seca, normal e chuvoso com base nas séries históricas para o estado do Ceará entre 1901 e 2021; b) examinar os anos de ocorrência desses períodos, definidos no objetivo "a" adaptados ao horizonte temporal de 1945 a 2020; c) avaliar o comportamento da produção de arroz, feijão, mandioca e milho no estado do Ceará em cada um desses períodos nos anos estudados; d) estimar a instabilidade total da precipitação, bem como as associadas às variáveis definidoras da produção de arroz, feijão, mandioca e milho entre 1945 e 2020; e) verificar a existência de auto-resiliência na produção destas culturas ao estresse provocado por anos de seca, tal como definido neste estudo.

Além desta introdução, o artigo é composto por mais quatro seções. Na segunda seção, discorre-se a fundamentação teórica sobre os principais conceitos acerca da agricultura resiliente ao clima e as definições de seca. A terceira seção exhibe a descrição dos dados e os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa. Enquanto na quarta seção, apresentam-se e discutem-se os resultados, finalizando com as conclusões do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção se apresentam e se discutem os conceitos de agricultura resiliente ao clima (*Climate Resilience Agriculture - CRA*) e as definições de secas, tendo em vistas que não há consenso na literatura disponível acerca de qual nível de precipitação de chuvas se pode estabelecer como marco definidor da ocorrência de seca.

2.1 Agricultura resiliente ao clima

Em se tratando da definição de resiliência, cabe mencionar o trabalho de Pimm (1991), no qual denota que a visão de resiliência tem ênfase no conceito físico de elasticidade, em virtude da característica dos materiais de se deformarem e voltarem ao formato original, após sofrer algum choque responsável por causar a sua deformação. Para Atkins, Mazzi & Easter (2000), resiliência seria capacidade de recuperação que teria um sistema de reabilitar-se tendo experimentado uma situação de risco, perigo ou desastre. Desse modo, para esses autores, a resiliência é designada como a capacidade de um sistema que esteja em estado de vulnerabilidade, de se recuperar, permanecendo estável ao longo dos períodos posteriores. Assim sendo, vulnerabilidade e resiliência são conceitos que se opõem (Lemos, 2020).

Nessa perspectiva, o Relatório do Desenvolvimento Humano 2014 (UNDP, 2014), que tem como temáticas a discussão dos conceitos de vulnerabilidade e resiliência define resiliência como a capacidade que um sistema e seus componentes têm em antecipar, absorver, acomodar ou recuperar-se de efeitos provocados por fatores externos, de modo eficiente, considerando uma escala temporal.

Isto posto, se faz necessário abordar a definição dada por Rao et al. (2016), que conceitua a Agricultura Resiliente ao Clima (*Climate Resilience Agriculture - CRA*) como a incorporação de adaptação, mitigação e de outras práticas na agricultura capazes de aumentar o sistema produtivo em resposta às instabilidades climáticas, resistindo aos danos, recuperando-se rapidamente e assegurando uma produção sustentável. Em suma, é a capacidade de um sistema regressar à sua posição anterior à ocorrência do estresse a que estava sujeito. CRA envolve o incremento na gestão dos recursos naturais, tais como: terra, água, solo, além de recursos genéticos, sempre em busca de melhores práticas (Mendelsohn, 2009; Hanjra & Qureshi, 2010; FAO, 2013; IIED, 2015; Maheswari et al., 2015; Rao et al., 2016; Rai et al., 2018; Rao & Gopinath, 2021).

A literatura que descreve as práticas de CRA sugere que algumas das estratégias para alcançar este objetivo seriam: cultivo de variedades tolerantes à seca, diversificação de culturas, gestão do solo, desenvolvimento de estratégias de colheita e armazenamento de água, promoção da segurança alimentar, tentativas de conservação da umidade do solo, gestão adequada do solo, diversificação de culturas, cultivo de culturas de ciclo mais curto, entre outras práticas (Mendelsohn, 2009; Hanjra & Qureshi, 2010; Alemaw & Simalenga, 2015; Maheswari et al., 2015; Rao et al., 2016; Altieri & Nicholls, 2017; Rey et al., 2017; Sain et al., 2017).

Quanto a realidade brasileira, Praxedes (2021) retratou a resiliência à instabilidade pluviométrica na agricultura de sequeiro na sub-região mais problemática do Ceará. em termos de distribuição de chuvas (Sertão Central e Inhamuns), em 29 dos 40 municípios que fazem parte daquela sub-região. A autora mencionou que, apesar de ser um sistema de sequeiro, as produções de feijão, mandioca e milho apresentaram resiliência quando mensuradas de forma agregada, no período de 1974 a 2019. O estudo aponta ainda que, apenas as áreas colhidas com mandioca não apresentaram resiliência à ocorrência de seca, ressaltando-se que foram identificados 16 anos com períodos de restrições pluviométricas no Ceará naquele período, sendo o mais longo de 2012 a 2017.

O trabalho de Bezerra (2022) faz análise de um dos pilares da Agricultura Inteligente ao Clima (*Climate Smart Agriculture - CSA*), que é denotado pela estimação do Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) em três estados da região Nordeste: Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte. A autora mostrou em seus resultados, que apenas o estado de Pernambuco apontou resiliência da agricultura. Ressalta ainda que, os agricultores, de maneira geral, desenvolvem habilidades de convivência com as secas, seja por meio dos conhecimentos adquiridos pelos seus antepassados, ou pelas próprias experiências adquiridas quando são pressionados a gerenciar riscos recorrentes nas propriedades, sendo mais conhecida como auto-resiliência, pois independe da intervenção de agentes externos, ou mesmo de políticas públicas. Por razões pontuadas na literatura, retratadas em parte nesta pesquisa, vale mencionar que intensificar e elevar a resiliência das famílias rurais que detêm atividades baseadas na agricultura configura-se como uma tarefa desafiadora e que requer uma estratégia adaptada à realidade local (Devendra, 2016; Bezerra, 2022).

Na região semiárida brasileira, em geral, e no estado do Ceará, em particular, que tem 175 dos seus 184 municípios reconhecidos pelo Governo Federal (SUDENE, 2021) como estando incluídos nesta região, pode-se dizer que existem algumas práticas exercidas pelos próprios agricultores que podem ser caracterizadas como CRA. São experiências e adaptações, na maioria das vezes espontâneas, sem a intervenção dos poderes públicos, que os levam, por exemplo, a selecionar sementes e mudas das culturas que apresentam os melhores resultados em boas épocas de chuva e mesmo nos períodos em que há dificuldades (Obermaier, 2011; Melo et al., 2019; Praxedes, 2021).

2.2 Definições de seca

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization* – WMO, 2012), a seca é um período prolongado quando a precipitação total numa região definida é inferior à média de longo prazo, causando problemas entre a procura e a oferta de água nessa região. De acordo com Mishra & Singh (2010), Marengo et al. (2016) e Brito et al. (2018), a seca é um fenômeno natural complexo que afeta as atividades agrícolas, reservatórios de água utilizados para produzir eletricidade e outras necessidades de utilização de água.

Segundo Wilhite e Glantz (1985) existem quatro tipos de secas: meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica. A seca meteorológica está associada à queda na precipitação de chuvas devido ao comportamento do sistema oceano-atmosférico. Por outro lado, de acordo com Fernandes et al. (2009), a seca meteorológica pode ser definida como a duração dos períodos em que a precipitação ocorre abaixo de uma média histórica. A seca é classificada como agrícola quando a evapotranspiração é superior ao total de água disponível para as culturas no solo (Woli et al., 2012). A seca hidrológica, por sua vez, está relacionada com o fluxo inadequado de água da chuva para usos já estabelecidos no sistema como, por exemplo, para o abastecimento de centrais hidrelétricas (Mishra & Singh, 2010; Jesus et al., 2020).

Finalmente, a seca socioeconômica afeta as consequências da escassez de água para as atividades econômicas, provoca escassez de água para as necessidades humanas, para os animais e apresenta impactos ambientais (Pedro-Monzonís et al., 2015).

Como se observa, as definições de seca não contemplam um patamar de pluviometria que poderia ser assim considerado como referência. O trabalho de Nunes & Medeiros (2020) elaborou uma classificação para períodos de seca para o estado do Ceará utilizando o que designaram de índice percentual normal (PIN), que é estimado pela razão entre a precipitação acumulada num determinado ano e a média histórica calculada a partir de um período mais longo.

Portanto, nesta pesquisa são utilizados os conceitos de secas meteorológica e agrícola, em conjunto, com base numa definição de precipitação em três períodos, definidos neste estudo, que estão descritos na metodologia.

3. MATERIAL E MÉTODO

O estudo utiliza séries de precipitação pluviométrica anual (em milímetros - mm) fornecidas pela Agência Nacional Oceânica e Atmosférica (*National Oceanic & Atmospheric Administration* – NOAA, 2022). A escolha desta fonte, se justifica pelo fato de disponibilizar dados climáticos globais e indicadores climáticos-ambientais que contêm informações acessíveis a partir de 1901, horizonte temporal suficiente para a presente análise. Os dados referentes às áreas colhidas, produtividade, preços das lavouras de arroz, feijão, mandioca e milho foram recolhidos de 1945 a 1973 a partir dos Anuários Estatísticos do IBGE (1945-1973). Quanto ao período de 1974 a 2020 foram retirados junto as Produções Agrícolas Municipais –PAM (IBGE, 2020). Quanto aos valores monetários foram atualizados para 2020 utilizando o Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI) da Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2022).

As culturas alimentares selecionadas foram: arroz, feijão, mandioca e milho, porque são cultivadas pela maioria dos agricultores do estado do Ceará, sobretudo, os que cultivam em sistema de sequeiro (IBGE, 2019). A partir destas culturas, foram analisadas as seguintes variáveis: A_{it} = Área colhida em hectares (ha) com cultura "i" ($i = 1, 2, 3, 4$) no ano t ($t = 1945, \dots, 2020$) no Ceará; R_{it} = produtividade da terra ou, simplesmente, produtividade ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) na produção da cultura "i" no ano "t"; e P_{it} = preço médio ($\text{R\$} \cdot \text{kg}^{-1}$), em valores de 2020, da cultura "i" no ano "t".

3.1 Classificação da pluviometria no Estado do Ceará de 1901 a 2020

Para a classificação dos períodos de pluviosidade para o Ceará foram utilizadas séries históricas de precipitação pluviométrica entre os anos de 1901 e 2020. A média (ME) e o desvio padrão (DP) foram calculados para estes anos de observações. Assim, são definidos os seguintes períodos, de acordo com a intensidade anual da precipitação: seca, chuvoso e normal. As definições destes três períodos estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Definições dos períodos de pluviometria no estado do Ceará de 1901 a 2020

Períodos	Parâmetros de classificação (mm)
Seca	Pluviometria < (ME – ½ DP)
Normal	(ME – ½DP) ≤ Pluviometria ≤ (ME + ½ DP)
Chuvoso	Pluviometria > (ME + ½ PD)

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da NOAA (2022).

Uma vez definidos os anos que compõem cada período, foi feito um teste para verificar se as médias desses períodos são estatisticamente diferentes. Se esta hipótese for aceita, a classificação pode ser adotada para avaliar as variáveis utilizadas para estudar as colheitas em cada período de chuva. Para realizar o teste utilizou-se a Equação 1 definida como se segue:

$$C_t = \beta_0 + \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \eta_t \quad (1)$$

Na Equação 1, D_1 e D_2 são variáveis binárias. Caso o coeficiente linear β_0 seja estatisticamente diferente de zero, com $D_1 = D_2 = 0$, será aferida a precipitação média dos anos de seca. Sendo o coeficiente β_1 estatisticamente diferente de zero, com $D_1 = 1$ e $D_2 = 0$, significa que a precipitação média do período de normalidade é diferente dos outros períodos. Sendo o coeficiente β_2 estatisticamente diferente de zero, com $D_1 = 0$ e $D_2 = 1$, significa que a pluviosidade média do período chuvoso é diferente dos outros períodos. O termo aleatório η_t , por hipótese, satisfaz às hipóteses do modelo linear clássico, de ser “ruído branco”. Assim, os parâmetros da Equação 1 podem ser estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários - MQO (Greene, 2012; Wooldridge, 2013). Se este modelo prevalecer, será possível classificar os períodos de pluviosidade da seguinte forma:

Média do período chuvoso > média do período normal > média do período de seca.

3.2 Avaliação da estabilidade/ instabilidade nas variáveis

Para estimar a estabilidade/instabilidade associada à precipitação e às variáveis que definem as produções das lavouras estudadas, foi utilizado o coeficiente de variação (CV). Por definição, o CV mede a relação percentual entre o desvio padrão e a média de uma variável aleatória. O CV é amplamente utilizado como medida de estabilidade ou de instabilidade por pesquisadores nas áreas de finanças, climatologia, engenharia, sensibilidade ao risco, experimentos agrícolas entre outras. Uma vantagem associada ao CV é que permite a comparação entre variáveis de natureza e medição diferentes (Gomes, 1985; Garcia, 1989; Hamer, et al., 1995; Nairy & Rao, 2003; Santos & Dias, 2021).

Quanto menor for o CV, mais homogênea, ou mais estável será a distribuição das observações das variáveis em torno de sua média (Nairy & Rao, 2003; Santos & Dias, 2021). Para utilizar o CV como aferidor de estabilidade/instabilidade de uma distribuição, poderá ser útil o conhecimento acerca da definição dos seus valores críticos. Gomes (1985) estabeleceu limites para a classificação dos CV na experimentação agrícola. Estas são as referências utilizadas neste estudo (Quadro 2).

Quadro 2 – Classificação do coeficiente de variação (CV) de acordo com a amplitude

Classificação	Amplitude (%)
Baixo	CV < 10

Médio	$10 \leq CV < 20$
Alto	$20 \leq CV < 30$
Muito alto	$CV \geq 30$

Fonte: Gomes (1985).

3.3 Sinergias entre as variáveis definidoras da produção de alimentos para a chuva

As variáveis utilizadas para definir a produção de arroz, feijão, mandioca e milho foram agregadas: áreas colhidas, produtividades e preços. Como são variáveis medidas em diferentes unidades e, supostamente, correlacionadas, a agregação foi feita através do índice de sinergia (SIN) construído na pesquisa. Para construir este índice, foi utilizada a metodologia de análise de fatorial (AF) através da decomposição em componentes principais (DCP).

3.3.1 Breve resumo do procedimento de AF tal como se aplica ao estudo

A análise fatorial é um método concebido para investigar se uma série de variáveis $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$, pode ser resumida num número menor ($k < n$) de fatores não observáveis: $F_1, F_2, \dots, F_k$. A hipótese técnica de AF está ancorada na correlação linear entre as variáveis que são utilizadas. Para realizar adequadamente a AF é necessário seguir estes passos: realizar o teste de esfericidade de Bartlett para confirmar que a matriz de correlação entre as variáveis estudadas não é uma identidade; assegurar que a estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) tem um valor igual ou superior a 0,500; avaliar a percentagem de explicação da variância acumulada pelos fatores estimados (Brooks, 2003; McClave et al., 2005; Thornton et al., 2008; Hahn, 2009; Guillaumont & Simonet, 2011; Chan, 2017; Fávero & Belfiore, 2017).

Sendo gerados mais do que um fator, o método AF através da DCP proporciona a possibilidade de fazer a rotação dos fatores. Existem diferentes métodos de rotação. Neste estudo foi adotado o método Varimax que produz fatores ortogonais. Esta propriedade é utilizada para construir o índice de sinergia (SIN). Uma vez feita a extração e determinado o número de fatores, estimam-se os escores fatoriais (McClave et al., 2005; Hassan et al., 2012; Chan, 2017; Fávero & Belfiore, 2017).

Com estes procedimentos as "n" variáveis originais geram "k" ($k < n$) variáveis não observadas, chamadas de escores fatoriais (EF) que são utilizados na construção do índice de sinergia (SIN). Os EF têm média zero, desta forma os valores que gravitam em torno dele são positivos e negativos. Para torná-los todos positivos, sem afetar a hierarquia em que foram gerados, é criada a variável (Y_{kt}), que tem variação entre zero e um. Para tanto, se definem os seus valores máximo e mínimo, respectivamente ($EF_{\max}$) e ($EF_{\min}$), e se utiliza a transformação mostrada na Equação 2:

$$Y_{kt} = (EF_{kt} - EF_{\min}) / (EF_{\max} - EF_{\min}) \quad (2)$$

Gerado desta forma, porque os fatores são ortogonais (causados pela rotação varimax), é possível estimar o índice de sinergia (SIN) pela média aritmética do Y_{kt} definida na Equação 3.

$$SIN_t = \Sigma Y_{kt} / k \quad (3)$$

O índice de sinergia variará entre zero e um ($0 \leq SIN_t \leq 1$). Quanto mais próximo de um (1) o valor SIN estiver num determinado ano, melhor terá sido o comportamento conjunto das doze (12) variáveis originais nesse ano. Espera-se que isto aconteça nos anos normais e chuvosos, que são definidos nesta investigação.

3.4 Mensuração da resiliência na produção das culturas estudadas

Para avaliar se houve resiliência associada à sinergia entre áreas colhidas, produtividades e preços do arroz, feijão, mandioca e milho no Estado do Ceará de 1945 a 2020, como resumidos no SIN, assume-se o seguinte procedimento descrito ao longo desta seção. Foram calculados, em sequência, os anos de precipitação em que ocorreram períodos

de seca, períodos normais e períodos chuvosos. Quando ocorreram mais de um ano seguidos nos períodos de “seca”, são calculadas as médias do SIN desses anos. Por outro lado, quando ocorrem sequências de períodos normais e chuvosos, as médias são calculadas de forma agregada. Estes são os períodos que, nesta pesquisa, são identificados como “não secos”. Por conseguinte, assume-se que a resiliência seria a capacidade de recuperação das variáveis agregadas na produção das lavouras nos períodos “não secos”, depois da ocorrência de períodos “secos”.

Procedendo desta forma, a série dos SIN que, originalmente, tem 76 observações, é reduzida a um número inferior de pares de sequências em que os valores se sucedem de forma binária: “seco” e “não seco”. Esta sequência do SIN é então montada em pares identificados como períodos identificados como “depois” e “antes” da seca. O teste que se faz consiste em comparar as médias do SIN nos dois grupos (“depois” e “antes” da seca). A hipótese nula é: a diferença da média do SIN após a seca (μ_1) e a sua média antes da seca (μ_2) é igual a zero, como se mostra na Equação 4:

$$H_0: (\mu_1 - \mu_2) = 0 \quad (4)$$

Se a hipótese nula for aceita, com a margem de erro estipulada para o teste, assume-se que existe resiliência nas variáveis agrupadas no SIN. O teste utilizado foi o “t” de Student com (n-1) graus de liberdade, onde “n” é o número de pares a serem testados (Samuels, 2014; Xu et al., 2017; Monteiro & Lemos, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação média estimada para o Ceará no período de 1901 a 2020 foi de 799,5 mm, com um desvio padrão de 268,3 mm e CV=33,6%. Com base nestes valores estipulam-se o limite superior para o período de seca (668,50 mm) e o limite inferior para o período chuvoso de 933,7 mm. Os anos normais situaram-se entre estes dois extremos. Estes foram os limites utilizados para as definições de períodos de seca, chuvoso e normal que ocorreram entre os anos de 1901 e 2020.

Pode-se observar na Tabela 1 que as médias de precipitação observadas para os períodos definidos entre os anos de 1901 e 2020, foram estatisticamente diferentes. Sendo assim, aplicaram-se esses limites para as precipitações ocorridas entre 1945 e 2020. O teste estatístico feito para esta série de observações também mostrou que as médias dos períodos são diferentes. Assim, conforme esperado pela pesquisa, a seguinte hierarquia pode ser construída para a precipitação pluviométrica que ocorreu no Ceará entre os anos de 1901 e 2020 e entre os anos de 1945 e 2020, como se segue: média do período chuvoso > média do período normal > média período de seca (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultados do teste para avaliar a diferença entre as médias dos três períodos de precipitação criados para o Ceará entre 1901-2020 e 1945 - 2020

Variáveis	Resultados para 1901 a 2020				Resultados para 1945 a 2020		
	Coeficientes	Estatística t	Sign.		Coeficientes	Estatística t	Sign.
Constante	524,685	24,830	0,000		552,042	23,994	0,000
D ₁	255,148	8,979	0,000		245,546	6,987	0,000
D ₂	599,670	19,650	0,000		552,521	14,894	0,000
R ² ajustado: 0,768					R ² ajustado: 0,753		

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da NOAA (2022).

Na Tabela 2 se mostram as médias e os CV estimados para os períodos de seca, normal e chuvoso entre os anos de 1901e 2020, bem como de 1945 a 2020.

Tabela 2 – Classificação por períodos de precipitação de chuvas no Estado do Ceará de 1901 a 2020 e de 1945 a 2020

Períodos	Ocorrências entre 1901 e 2020				Ocorrências entre 1945 e 2020			
	Anos	%	Média (mm)	CV (%)	Anos	%	Média (mm)	CV (%)
Seca	38	31,7	524,7	20,6	28	36,8	552,0	19,1
Normal	47	39,2	779,8	10,5	28	36,8	803,4	11,4
Chuvoso	35	29,2	1124,4	17,0	20	26,3	1104,6	18,4
Total	120	100,0	799,5	33,6	76	100,0	777,8	33,3

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da NOAA (2022).

Observa-se na Tabela 2 que, entre 1901 e 2020, a precipitação média estimada para o Ceará foi de 799,5 mm com CV = 33,6%, e entre 1945 e 2020 a média foi de 777,8 mm com CV=33,3%, mostrando elevadas instabilidades da precipitação de chuvas em ambas as séries analisadas, classificadas como “Muito altas” (Gomes, 1985).

Na Tabela 3 se mostram as médias e os coeficientes de variação (CV) estimados para as variáveis utilizadas no estudo. Através das evidências apresentadas na Tabela 3, se pode inferir que a instabilidade pluviométrica observada no período investigado foi transmitida, num efeito *spill over* (transbordamento) praticamente para todas as variáveis que definiram as produções de arroz, feijão, mandioca e milho no Ceará, no período avaliado. Em relação aos períodos em que a pluviosidade anual foi classificada, as maiores instabilidades observadas nas variáveis que definem a produção das lavouras estudadas estão nos períodos de seca, com exceção das áreas colhidas com feijão e mandioca, que foram mais instáveis nos períodos normais de pluviometria (Tabela 3).

Tabela 3 - Médias e coeficientes de variação (CV) de precipitação de chuvas, áreas colhidas, produtividades e valores da produção de arroz, feijão, mandioca e milho no estado do Ceará de 1945 a 2020

Variáveis	Seca		Normal		Chuvoso	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
Área colhida arroz (ha)	34677,68	50,28	43226,69	46,45	46990,72	28,32
Produtividade arroz (kg.ha ⁻¹)	1771,50	41,21	1973,64	30,95	2203,32	23,26
Preço do arroz (R\$.kg ⁻¹)	806,96	43,34	870,49	20,84	1144,89	37,12
Área colhida feijão (ha)	336095,71	43,62	385732,90	44,95	462814,5	28,38
Produtividade feijão (kg.ha ⁻¹)	260,48	45,49	431,63	28,05	331,80	31,59
Preço feijão (R\$.kg ⁻¹)	263,63	48,41	298,07	39,33	305,34	35,57
Área colhida mandioca (ha)	87500,61	41,01	88143,69	46,95	97308,41	21,57
Produtiv. mandioca ((kg.ha ⁻¹)	8843,20	35,93	11571,48	27,12	10242,52	27,36
Preço mandioca (R\$.kg ⁻¹)	736,84	50,87	811,38	43,05	921,73	33,40
Área colhida milho (ha)	368959,16	45,04	451570,83	37,92	525755,14	23,33
Produtiv. milho (kg.ha ⁻¹)	445,08	49,88	833,51	22,20	698,53	32,70
Preço milho (R\$.kg ⁻¹)	145,06	57,91	232,51	29,78	216,53	30,24
Anos de ocorrência	28		28		20	

Fontes: Elaborada pelos autores com base nos dados da NOAA (2022) e IBGE (1945-1973, 2020).

4.1 Resultados associados à AF para construir os índices de sinergia (SIN)

Os resultados encontrados na AF para estimar o índice de sinergia (SIN) são mostrados na Tabela 4. As doze variáveis originais são reduzidas a três fatores ortogonais. Observa-se que os ajustamentos foram todos robustos, de um ponto de vista estatístico, considerando que o teste de Bartlett evidencia que a matriz de correlação não é uma identidade. A estatística KMO = 0,620 e a variância total explicada (77,8%) pelos três fatores

ortogonais criados, a partir das doze (12) variáveis estudadas, complementam a informação da robustez do ajustamento (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados da análise fatorial para criar o índice de sinergia (SIN)

Variáveis	Matriz dos componentes após rotação ortogonal ^a			Coeficientes estimados para a matriz de escores fatoriais ^b		
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₁	F ₂	F ₃
Área colhida com arroz (ha.ano ⁻¹)	0,131	0,380	0,670	0,042	0,151	0,240
Produtividade de arroz (kg.ha ⁻¹)	-0,054	0,723	-0,341	0,051	0,245	-0,112
Preço de arroz (R\$.kg ⁻¹)	0,034	-0,035	0,676	-0,019	-0,002	0,241
Área colhida com feijão (ha.ano ⁻¹)	-0,184	0,935	0,202	0,005	0,316	0,091
Produtividade de feijão (kg.ha ⁻¹)	0,958	-0,083	-0,010	0,289	0,042	-0,043
Preço de feijão (R\$.kg ⁻¹)	0,433	-0,422	0,674	0,075	-0,108	0,220
Área colhida com mandioca (ha.ano ⁻¹)	-0,280	0,293	0,764	-0,095	0,091	0,289
Produtividade de mandioca (kg.ha ⁻¹)	0,843	-0,296	0,109	0,233	-0,039	0,002
Preço de mandioca (R\$.kg ⁻¹)	0,081	-0,255	0,742	-0,024	-0,075	0,261
Área colhida com milho (ha.ano ⁻¹)	-0,056	0,943	0,087	0,050	0,327	0,044
Produtividade de milho (kg.ha ⁻¹)	0,879	0,325	-0,219	0,304	0,177	-0,110
Preço do milho (R\$.kg ⁻¹)	0,867	-0,245	0,340	0,235	-0,017	0,085
Variâncias explicadas	29,001	25,165	23,627			
Variância acumulada	77,793					

Teste de esfericidade de Bartlett para a matriz de correlação entre as variáveis

Approx. Qui-quadrado: 917,835

Graus de liberdade: 66

Sig.: 0,000

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) = 0,620

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da NOAA (2022); IBGE (1945-1973, 2020).

Nota: ^a método de extração: análise de componentes principais; ^b método de rotação: Varimax com normalização Kaiser; rotação convergiu em 5 iterações.

4.2 Teste de contraste para avaliar a resiliência na produção cearense de sequeiro

A média estimada do SIN para os períodos de seca foi de 0,572 enquanto que o seu valor para os períodos que não foram de seca foi de 0,796. Os resultados do teste de contraste realizado para avaliar a existência de resiliência na produção de arroz, feijão, mandioca e milho no Estado do Ceará, entre 1945 e 2020, são apresentados na Tabela 5.

Na Tabela 5 estão mostrados os contrastes médios do SIN medindo as diferenças da sua média antes dos períodos “não secos” (0,797) e do SIN após os períodos “secos” (0,795). O valor p estimado para o teste “t” de “Student”, utilizado para avaliar a significância estatística existente nos contrastes, mostrou que não havia diferença significativa entre eles. Estes resultados sinalizam que as médias agregadas do SIN, antes e depois dos períodos de seca, são estatisticamente iguais e, como se observa, numericamente muito próximos. Desta forma, permitem concluir que não há razões para rejeitar as hipóteses de resiliência existentes na produção de arroz, feijão, mandioca e milho no Estado do Ceará, no período de 1945 a 2020.

Tabela 5 - Teste de contraste para avaliar a diferença do SIN antes e depois dos períodos de escassez no Estado do Ceará, de 1945 a 2020.

Diferenças entre pares classificados com 95% de probabilidade fiducial						
Contrastes	Diferença média	Média antes dos períodos de seca	Média depois dos períodos de seca	Estatística t	Graus de liberdade	Sig.

Antes - Depois	0,001	0,797	0,795	0,029	17	0,977
-------------------	-------	-------	-------	-------	----	-------

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da NOAA (2022); IBGE (1945-1973, 2020).

Esses resultados colaboram com os encontrados na pesquisa de Bezerra (2022), uma vez que a autora verificou a resiliência da agricultura ao clima nos estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, entretanto apenas no Pernambuco foi possível constatar a existência de resiliência diante da análise das culturas agrícolas de feijão, mandioca e milho. Os resultados aqui expostos reforçam a hipótese de que os agricultores apesar de sofrerem choques climáticos, devido a ocorrência de secas de forma sistemática, ainda assim, conseguem buscar estratégias de sobrevivência com esse fenômeno natural recorrente, muitas vezes, de alta intensidade e de efeitos severo, tanto de um ponto de vista meteorológico como agrícola. Essa capacidade de adaptação dos agricultores favorece a continuidade das atividades agrícolas e a manutenção de renda para muitas famílias rurais do Ceará que tendo sido acometidas de seca, conseguem se recuperar quando acontecem pluviometrias mais favoráveis.

Nessa vertente, o artigo de Tanure, Domingues & Magalhães (2024), ao analisar os impactos regionais das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola por cultivo da agricultura familiar e patronal no Brasil, entre os anos de 2021 e 2050. Os resultados desse estudo indicaram que a agricultura familiar exibiria maior sensibilidade, bem como maior vulnerabilidade ao fenômeno. Para eles, os efeitos seriam mais intensos, negativamente, nas regiões Norte e Nordeste, para as lavouras de feijão, mandioca, milho e soja. Dessa forma, causaria possíveis efeitos no desmatamento e na oferta de alimentos. No caso da região Sul, segundo a pesquisa, esperam-se ganhos de produtividade, sobretudo, nos cultivos de cana-de-açúcar e soja. Os efeitos de choques climáticos tendem a deterioração da segurança alimentar dos agricultores mais vulneráveis, contribuindo para o aumento das disparidades regionais no Brasil.

5. CONCLUSÕES

A pesquisa conseguiu elaborar a classificação proposta para os períodos climáticos definidos a partir das pluviometrias observadas no estado do Ceará entre 1901 e 2020. Foram criados três (3) períodos a partir da precipitação pluviométrica: seca, normal e chuvoso. Além disso, ficou demonstrado que esses resultados também se ajustaram para o lapso de tempo compreendido entre os anos 1945 e 2020, em que há informações disponíveis para avaliar as produções das lavouras de sequeiro estudadas: arroz, feijão, mandioca e milho.

As evidências encontradas no estudo mostraram que, em geral, a precipitação observada no estado do Ceará, entre 1945 e 2020, foi muito irregular, mas as instabilidades maiores foram observadas nos períodos de secas definidos nesta pesquisa. Observou-se, como se supôs, que esses resultados são transmitidos, efeito “*spillover*” quase de forma integral, às variáveis utilizadas na investigação para a construção do índice de sinergia (SIN), para avaliar as produções de arroz, feijão, mandioca e milho no Estado entre 1945 e 2020.

A conclusão geral da pesquisa é que, apesar das dificuldades enfrentadas pelos agricultores, produtores de arroz, feijão, mandioca e milho, conseguiram desenvolver, por si próprios, capacidades adaptativas às instabilidades pluviométricas observadas nos 76 anos estudados e exibiram provas de auto-resiliência na produção destas culturas, após a ocorrência de secas, que se manifestaram em 31 dos 76 anos (40,8%) estudados.

Em síntese, viver sob o clima semiárido no estado do Ceará é uma realidade que precisa ser melhor planejada pelos que tomam decisões e elaboram as políticas públicas, tendo em vistas que os agricultores já conseguem desenvolver estratégias de sobrevivência sob essas condições, como ficou demonstrado nesta pesquisa. O desenvolvimento e o aprimoramento de tecnologias de baixo custo para agricultores familiares que cultivam essas

lavouras, considerando a sua demonstrada capacidade de adaptação às condições climáticas instáveis do semiárido, pode ser uma sugestão para futuras pesquisas.

Os resultados obtidos permitiram reforçar a recomendação para promover o aumento da resiliência no enfrentamento às instabilidades climáticas por meio do fortalecimento das políticas públicas, encorajadas em dados científicos, que intensifiquem a assistência técnica, o fomento a extensão rural, bem como outras ações que promovam a capacidade adaptativa da região semiárida estudada, ajudando assim a incrementar a resiliência ao estresse hídrico provocado pela ocorrência de secas.

Portanto, observa-se que a pergunta motivadora desta pesquisa foi respondida: há evidências de capacidades adaptativas que tornam auto-resilientes os agricultores que cultivam lavouras de sequeiro no semiárido do estado do Ceará.

REFERÊNCIAS

- Alemaw, B., & Simalenga, T. (2015). Climate Change Impacts and Adaptation in Rainfed Farming Systems: A Modeling Framework for Scaling-Out Climate Smart Agriculture in Sub-Saharan Africa. *American Journal of Climate Change*, 4(4), 313-329. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2015.44025>
- Altieri, M.A., & Nicholls, C. I. (2017). The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 140(1), 33-45. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0909-y>
- Atkins, J. P., Mazzi, S. A., & Easter, C. D. (2000). *Commonwealth vulnerability index for developing countries: the position of small states*. London: OECD Publishing. <https://doi.org/10.14217/9781848597167-en>
- Beyer, M., Wallner, M., Bahlmann, L., Thiemig, V., Dietrich, J., & Billib, M. (2016). Rainfall characteristics and their implications for rain-fed agriculture: A case study in the Upper Zambezi River Basin. *Hydrological Sciences Journal*. 61(2), 321–343. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.983519>
- Berkes, F. (2007). Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking. *Natural Hazards*, 41, 283-295. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9036-7>
- Bezerra, F. N. R. (2022). *Avaliação da agricultura de baixa emissão de carbono e inteligente ao clima no Brasil*. 263 f. Tese (Doutorado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Brito, S. S. B., Cunha, A. P. M., Cunningham, C. C., Alvalá, R. C., Marengo, J. A., & Carvalho, M. A. (2018). Frequency, duration and severity of drought in the Semi-arid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology*, 38(2), 517-529. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5225>
- Brooks, N. (2003). *Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework*. Tyndall Centre for Climate Change Research. Recuperado em 1 de agosto de 2022, de https://www.researchgate.net/publication/200032746_Vulnerability_Risk_and_Adaptation_A_Conceptual_Framework/link/58ac004a458515040205dfb2/download.
- Carvalho, O. (2010). *Nordeste semiárido: transformação de potencialidades em possibilidades econômicas*. In: Semiárido. Brasília: Câmara dos Deputados, 143-176.

- Chan, L. L. (2017). Validity and Reliability of The Instrument Using Exploratory Factor Analysis and Cronbach's alpha. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 7(10), 400-410. doi:10.6007/IJARBS/v7-i10/3387
- Costa Filho, J. (2019). *Efeitos da instabilidade pluviométrica sobre a previsão da produção de lavouras de sequeiro em áreas sujeitas à desertificação (ASD) no semiárido do estado do Ceará: casos de Irauçuba e Tauá*. 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Deschênes, O., & Greenstone, M. (2007). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather. *American Economic Review*, 97(1), 354-385. <https://doi.org/10.1257/aer.97.1.354>
- Devendra, C. (2016). Rainfed agriculture: its importance and potential in global food security. *Utar. Agriculture Science Journal*, 2(2), 4-17.
- Duque, J. G. (1973). *Solo e água no polígono das secas*. Salvador: ABC Gráfica.
- Fávero, L. P., & Belfiore, P. (2017). *Handbook of data analysis*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Fernandes, D. S., Heinemann, A. B., Da Paz, R. L., Amorim, A. O., & Cardoso, A. S. (2009). Indices for the quantification of drought. *Embrapa Arroz e Feijão*, 244.
- Fischer, G., Shah, M., & Van Velthuisen, H. (2002). *Climate change and agricultural vulnerability*. Johannesburg: International Institute for Applied Systems Analysis to World Summit on Sustainable Development, Special Report.
- Fraiture, C., Karlberg, L., & Androckström, J. (2009). Can Rainfed Agriculture Feed the World? An Assessment of Potentials and Risk. In: Wani, S.P.; Rockström, J. and Oweis, T. *Rainfed Agriculture: Unlocking the Potential*. London, UK. 124-132. Recuperado em 20 dezembro de 2022, em <https://www.researchgate.net/publication/254426141>.
- Food and Agriculture Organization of The United Nations - FAO. (2013). *Climate-smart Agriculture Sourcebook*. 570.
- Fundação Getúlio Vargas - FGV. (2022). *Índice Geral de Preços (IGP-DI)*. Recuperado em 20 setembro de 2022, em https://portalibre.fgv.br/?utm_source=portal-fgv&utm_medium=menuindices&utm_campaign=portal-fgv-menu-indices
- Garcia, C.H. (1989). *Tabelas para classificação de coeficientes de variação*. Piracicaba: IPEF, (Circular Técnica, 171), 12.
- Global Environment Facility -Gef. (2019). *Strengthening the Adaptive Capacity and Resilience of Communities in Uganda's water sheds*. Recuperado em 15 novembro de 2022, de https://www.thegef.org/sites/default/files/webdocuments/10203_LDCF_Uganda_PIF.pdf
- Greene, W. H. (2012). *Econometric Analysis*. 71. ed. New York: Stern School of Business, New York University.
- Gomes, F. P. (1985). *Curso de estatística experimental*. 13. ed. São Paulo: ESALQ/USP, 467.
- Guillaumont, P., & Simonet, C. (2011). *Designing an index of structural vulnerability to climate change*. FERDI-Fondation pour les etudes et recherches sur le Developpement International, France, 42.

- Gurjão, N.O. (2020). *Avanços da degradação ambiental na região Nordeste do Brasil*. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Hahn, M., Riederer, A., & Foster, S. (2009). The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change - A case study in Mozambique. *Global Environmental Change*, 19(1), 74-88. doi:10.1016/j.gloenvcha.2008.11.002
- Hamer, A.J. et al. (1995). A new method of comparative bone strength measurement, *Journal of Medical Engineering & Technology*, 19(1), 1-5. <https://doi.org/10.3109/03091909509030263>
- Hanjra, M.A., & Qureshi, M.E. (2010). Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy*, 35, 365–377. doi:10.1016/j.food pol.2010.05.006
- Hassan, S., Ismail, N., Jaafar, W. Y. W., Ghazali, K., Budin, K., Gabda, D., & Samad, A. S. A. (2012). Using Factor Analysis on Survey Study of Factors Affecting Students' Learning Styles. *International journal of applied mathematics and informatics*. 6(1), 33-40. <https://www.naun.org/multimedia/UPress/ami/17-667.pdf>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (1945-1973). *Anuário estatístico do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado em 12 setembro de 2022, em <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=720&view=detalhes>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2019). *Censo Agropecuário 2017: resultados finais*. Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado em 10 outubro de 2022, em <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2017>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2020). *Produção Agrícola Municipal - PAM 2020*. IBGE/SIDRA. Recuperado em 14 outubro de 2022, em <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2021). Produto Interno Bruto dos Municípios 2019. *Coordenação de Contas Nacionais*, n. 86, Rio de Janeiro: IBGE, 16 p.
- Instituto de Pesquisa Econômica e Estratégica do Ceará - IPECE. (2018). *Suscetibilidade à desertificação dos municípios do estado do Ceará*. Fortaleza, Ceará.
- International Institute for Environment and Development – IIED. (2015). *Reviving knowledge: India's rainfed farming, variability and diversity*. Recuperado em 20 setembro de 2022, em <https://pubs.iied.org/pdfs/17307IIED.pdf>.
- Jesus, E. T. de, Amorim, J. S., Junqueira, R., Viola, M. R., & Mello, C. R. (2020). Meteorological and hydrological drought from 1987 to 2017 in the Doce River watershed, Southeastern Brazil. *Scientific Technical Article, RBRH*, 25(6), 1-10.
- Lemos, J. J. S., Bezerra, F. N. R., Costa Filho, J., & Gurjão, N. O. (2020). Family farming in Ceará: evidence from the 2017 Agricultural Census. *Rev. Econ. NE*, Fortaleza, 51 (Suplemento Especial), 93-112.
- Lemos, J. J. S. (2020). *Vulnerabilidades induzidas no semiárido*. E-book. Fortaleza: Imprensa Universitária, 170 p. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/54842>

- Lessa, L.C.R. (2023). *Resiliência e sustentabilidade da agricultura de sequeiro sob instabilidade pluviométrica na paraíba*. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará. Programa de Pós-Graduação em Economia Rural. Dissertação de Mestrado. 91 p.
- Machado, L. M. (2018). *Climate change resilient development of family farmers in the Brazilian semi-arid: an analysis of public policies and of the coexisting with the semi-arid paradigm*. Tese (doutorado), Programa de Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 161 p.
- Maheswari, M., Sarkar, B., Vanaja, M., Srinivasa Rao, M., Srinivasa Rao, Ch., Venkateswarlu, B., & Sikka, A.K. (2015). *Climate Resilient Crop Varieties for Sustainable Food Production under Aberrant Weather Conditions*. Central Research Institute for Dryland Agriculture (ICAR), Hyderabad, 47 p.
- Mallari, A. E. C. (2016). Climate Change Vulnerability Assessment in the Agriculture Sector: Typhoon Santi Experience. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 440 – 451. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.058>
- Marengo, J. A., Alves, L., Avala, R., Brito, S., & Moraes, O. (2017). Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da 118 Academia Brasileira de Ciências*. São Paulo. Recuperado em 12 de novembro de 2022, em <https://bv.fapesp.br/en/publicacao/161696/climatic-characteristics-of-the-2010-2016-drought-in-the-sem>
- Marengo, J. A., & Bernasconi, M. (2015). Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climatic Change*, 129(1-2), 104-115. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>
- Marengo, J. A., Cunha, A. P., & Alves, L. M. (2016). The 2012-15 drought in the semiarid Northeast of Brazil in historical context. *Climanalysis Journal*, 3, 49-54.
- McClave, J.T., Benson, P.G., & Sincich, T. (2005). *Statistics for Business and Economics*. Upper Saddle River, New Jersey, Pearson Prentice Hall.
- Mendelsohn, R. (2009). The Impact of Climate Change on Agriculture in Developing Countries. *Journal of Natural Resources Policy Research*. 1(1), 5–19. <https://doi.org/10.1080/19390450802495882>
- Melo, R. F., Simoes, W. L., Pereira, L. A., Brito, L. T. L., Ferreira, E. P., Barros, L. C., & Ribeiro, P. E. A. (2019). Água para o fortalecimento dos sistemas agrícolas dependentes de chuva. In: Melo, R.F. & Voltolini, T.F. *Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido*. Brasília (DF). Embrapa, 188 – 228.
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 391, 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Monteiro, A. P., Lemos, J. J. S. (2019). Inequalities in the distribution of Pronaf resources among Brazilian regions. *Revista de Política Agrícola*, year XXVIII, 1, 6-17.
- Pimm, S. *The balance of nature?* Chicago, Illinois: University of Chicago Press, 1991.
- Singh, M., Tiwari, N. K., KUMAR, N., Dabur, K., & DEHINWAL, A. K. (2018). Dry and Rainfed Agriculture-Characteristics and Issues to Enhance the Prosperity of Indian Farming Community. *BEPLS*, 6(10).

- Nairy, K. S., & Rao, K. A. (2003). Tests of Coefficients of Variation of Normal Population. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 32(3), 641-661. <https://doi.org/10.1081/SAC-120017854>
- National Oceanic & Atmospheric Agency - NOAA. (2022). *Global Historical-Monthly Climatology Network (GHCN-M)*. Recuperado em 24 de setembro de 2022, em <https://www.globalclimatemonitor.org/#>
- Nunes, L. F. C. V., & Medeiros, P. H. A. (2020). Historical analysis of drought severity in Ceará: effects of hydraulic capital acquisition on society. *Rev. Gest. Água Am. Lat.*, Porto Alegre, REGA - Latin American Journal of Water Management, Technical Note Section, 17(18), 1-14.
- Obermaier, M. *Velhos e novos dilemas nos sertões: mudanças climáticas, vulnerabilidade e adaptação no semiárido brasileiro*. (2011). 167 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.
- Pedro-Monzonís, M., Solera, A., Ferrer, J., Estrela, T., & Paredes-Arquiola, J. (2015). A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology* (Amsterdam), 527, 482-493. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>
- Pereira, G. R. (2018). *Correlação entre as secas e as perdas na agricultura de sequeiro no Semiárido Nordeste*. Recuperado em 24 de outubro de 2022, em https://editorarealize.com.br/revistas/conadis/trabalhos/TRABALHO_EV116_MD1_SA23_ID185_19112018114546.pdf.
- Praxedes, A. L. F. (2021). Sinergia e resiliência entre a seca e a produção agrícola de sequeiro no semiárido do Ceará. (2021). 97 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Rai, R. K., Bhatta, L. D., Acharya, U., Bhatta, A. P. (2018). Assessing climate-resilient agriculture for small holders. *Environmental Development*, 27, 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.06.002>
- Rao, C.S., & Gopinath, K.A. (2021). Resilient rainfed technologies for drought mitigation and sustainable food security. *Mausam*. 67(1), 169-182. <https://doi.org/10.54302/mausam.v67i1.1174>
- Rao, C. S., Gopinath, K. A., Prasad, Y., Sikka, A., & Singh, R. (2016). Climate Resilient Rainfed Agriculture. *Indian Farming Agriculture*, 66(2), 02-06.
- Rey, D., Holman, I. P., Knox, J. W. (2017). Developing drought resilience in irrigated agriculture in the face of increasing water scarcity. *Regional Environmental Change*, 17, 1527–1540. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1116-6>
- Rosenzweig, C., & Hillel, D. (2005). Climate change, agriculture and sustainability. In: Lal, R., Uphoff, N., Stewart, B.A. Hansen, D.O. (eds.). *Climate change and global food security*. Taylor & Francis, London, UK. 243-268.
- Sain, G., Loboguerrero, A.M., Corner-Dolloff, C., Lizarazo, M., Nowak, A., Martínez-Barón, D., & Andrieu, N. (2017). Costs and benefits of climate-smart agriculture: The case of the Dry Corridor in Guatemala. *Agric. Syst.* 151, 163–173. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.004>

- Salviano, J. I. de A. *Relações entre instabilidades das chuvas e indicadores de produção de lavouras de sequeiro no semiárido cearense, Brasil.* (2021). 131 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Salviano, J.I.A., Praxedes, A. L. F., & Lemos, J. J. S. (2020). Sinergias entre as instabilidades pluviométricas e a produção de lavouras de sequeiro no Semiárido cearense. *Revista Cerrados*, Montes Claros/MG, 18(2), 371-394.
- Santos, C., & Dias, C. (2021). Note on the coefficient of variation properties (2021). *Brazilian Electronic Journal of Mathematics*, 2(4), jul/dez, 101-111. <https://seer.ufu.br/index.php/BEJOM/article/view/58062/31341>.
- Samuels, P. (2014). Paired Samples t-test. Stats tutor. *Technical Report*, April. Recuperado em 10 outubro de 2022, em https://www.researchgate.net/publication/274635625_Paired_Samples_t-test.
- Sathyan, A. R., Funk, C., Aenis, T., & Breuer, L. (2018). Climate Vulnerability in Rainfed Farming: Analysis from Indian Watersheds. *Sustainability*, 10(9), 3357. <https://doi.org/10.3390/su10093357>
- Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. (2021). *Delimitação do semiárido – 2021: Relatório final*. Ministro do Desenvolvimento Regional. Recife. Recuperado em 10 novembro de 2022, em <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-deconteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>
- Tanure, T. M. P., Domingues, E. P., & Magalhães, A. S. (2024). Regional impacts of climate change on agricultural productivity: evidence on large-scale and family farming in Brazil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 62(1), e262515. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.262515>
- Thornton, P., Jones, P. G., Owiyo, T., Kruska, R. L., Herrero, M., Orindi, V., Bhadwal, S., Kristjanson, P., Notenbaert, A., Bekele, N., & Omolo, A. (2008). Climate change and poverty in Africa: Mapping hotspots of vulnerability. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2(1), 24- 44. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.56966>
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120.
- Woli, P., Jones, J. W., Ingram, K. T., Fraisse, C. W. (2012). Agricultural reference index for drought (ARID). *Agronomy Journal*, 104(2), 287-300. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0286>
- World Meteorological Organization - WMO. (2012). *Standardized precipitation index user guide*. (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood), (WMO-No. 1090), Geneva.
- Wooldridge, J. M. (2013). *Introductory econometrics: A modern approach*. South Western Educational Publishing, 881 p.
- United Nations Development Programme - UNDP. *Human Development Report 2014 Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerabilities and Building Resilience*. Plaza, New York, USA, 2014.
- Xu, M.; Fralick, D.; Zheng, J. Z.; Wang, B.; Tu, X. M., & Feng, C. (2017). The Differences and Similarities Between Two-Sample T-Test and Paired T-Test. *Shanghai Arch Psychiatry*, 29(3), 184–188. <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.217070>.