

## SIMULAÇÕES DE SUSTENTABILIDADE NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS DA AGRICULTURA FAMILIAR DO ESTADO DO MARANHÃO

<http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2022.58.11440>

Recebido em: 5/9/2020

Aceito em: 16/11/2021

Stalys Ferreira Rocha<sup>1</sup>, José de Jesus Sousa Lemos<sup>2</sup>, Robério Telmo Campos<sup>3</sup>

### RESUMO

O presente artigo tem por objetivo avaliar, de forma experimental, a possibilidade de manter a produção agregada das lavouras de arroz, feijão, mandioca e milho sem expandir as áreas cultivadas, a partir da média histórica, em cada uma das dez regiões em que o Maranhão foi subdividido de acordo com as suas condições climáticas, entre 1980 e 2016. Para analisar a sustentabilidade das lavouras e, se há diferenças estatísticas entre os dois grupos avaliados na pesquisa, criou-se o índice de sustentabilidade (Isus), por meio de técnicas de programação linear. Os resultados encontrados mostraram que em todas as dez regiões estudadas é possível produzir arroz, feijão, mandioca e milho de forma sustentável de um ponto de vista econômico, tecnológico e ambiental sem que haja expansão de áreas a partir de um determinado valor, bastando que os agricultores tenham acesso às tecnologias que viabilizem maiores níveis de produtividade.

**Palavras-chave:** Pluviometria; agricultura familiar; sustentabilidade; programação linear.

### SUSTAINABILITY SIMULATION IN PRODUCTION OF FOOD IN FAMILY FARMS OF MARANHÃO STATE

### ABSTRACT

It was experimentally evaluated the possibility of maintaining aggregate production of rice crops, beans, cassava and corn without expanding the harvested areas from their historical average in each of the ten regions which the Maranhão State was subdivided according with its climatic conditions between 1980 and 2016. To analyze the sustainability of those crops production, and if there are statistical differences between the two groups evaluated in the research, it was created the sustainability index (Isus) by using of linear programming techniques. The results showed that in all ten regions studied it is possible to produce rice, beans, cassava and corn in a sustainable way according an economic, technological and environmental point of view without expansion areas from a certain level. It should be possible if farmers have access to technologies that enable higher levels of productivity.

**Keywords:** Rainfall; family farming; sustainability; linear programming.

<sup>1</sup> Autor correspondente: Doutorando em Desenvolvimento Rural – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Av. João Pessoa, 52 – Centro – Porto Alegre/RS. Brasil. CEP: 90040-000. Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), Brasil. <http://lattes.cnpq.br/4027532635257856>. <http://orcid.org/0000-0003-0577-5844>.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza/CE, Brasil. <http://lattes.cnpq.br/5498218246827183>. <https://orcid.org/0000-0002-2169-1360>.

<sup>3</sup> Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza/CE, Brasil. <http://lattes.cnpq.br/2652530418454016>. <https://orcid.org/0000-0003-1393-987X>.

## INTRODUÇÃO

As fragilidades dos sistemas de produção agrícola maranhense, que se baseiam em procedimentos tecnológicos tradicionais, sugerem o quanto os cultivos de arroz, feijão, mandioca e milho estão vulneráveis à instabilidade climática que prevalece em boa parte das áreas em que essas culturas são praticadas no Estado. Em decorrência disso, os agricultores mais tradicionais têm a difícil tarefa de subsistir nas áreas rurais com um baixo nível de renda e limitada capacidade de buscar por meios alternativos de sobrevivência em razão do acanhado nível de investimento em tecnologias adaptadas aos diferentes ecossistemas de um dos maiores Estados da Federação, o que se reflete na oscilação dos indicadores de área colhida, produção e produtividade da terra dessas lavouras (LIRA; LEMOS; LIMA, 2016).

Além do mais, a instabilidade dos preços agrícolas, definidos fora do âmbito de interferência dos produtores, situa os agricultores, em geral, e os maranhenses em especial, em uma situação de incerteza, no que se relaciona à comercialização do excedente que produzem e que lhes poderiam viabilizar renda monetária. Assim, pode-se especular que a não previsibilidade das chuvas, assim como as oscilações dos preços agrícolas se constituem em alguns dos mais relevantes fatores que explicam a irregularidade da evolução da produção agrícola maranhense ao longo dos anos.

De acordo com os últimos levantamentos oficiais e que estão disponibilizados acerca da agricultura familiar, o Maranhão detém a terceira posição no ranking dos Estados nordestinos com a maior concentração de famílias agricultoras da região Nordeste e a quinta no país (IBGE, 2018). Esses dados mostram ainda que são aproximadamente 358 mil agricultores responsáveis pela produção de 89% do arroz, 86% da mandioca e do feijão e 87% do milho consumidos no Maranhão.

Em virtude da fronteira agrícola que ainda é prevalecente no Maranhão, as práticas agrícolas das lavouras alimentares (arroz, feijão, mandioca e milho) sempre foram realizadas usando a tecnologia tradicional que consiste no desmatamento de novas áreas, ou na retirada da capoeira que estava se recuperando. O substrato constituído pelos restos do material decorrente dessa desobstrução da terra para o cultivo é queimado. Esse é o modo de limpeza que os agricultores dispõem para deixar a terra pronta para o plantio. A queima do material resultante da eliminação da vegetação “indesejável” é a forma de conseguir, no primeiro ano, acrescentar macro e micronutrientes ao solo por meio das cinzas (FERNANDES, 2005).

Apesar de ser ainda recorrente, esta prática não é sustentável em médio prazo. Isto porque, em geral, depois do segundo ano de cultivo, a produtividade das lavouras tende a cair. É então que os produtores avançam em áreas que estavam em repouso ou que ainda não foram exploradas, e o ciclo se repete (FERNANDES, 2005). Lemos e Souza (2018), porém, demonstraram por meio de um estudo que durou dez anos, a viabilidade de consorciar as lavouras de arroz, feijão, mandioca e milho, à sombra de babaçuais nativos, devidamente manejados e sem o uso da queima para limpeza de área.

Efetivamente, a relevância do tema motivador da realização deste estudo está ancorada na importância socioeconômica e ambiental que os cultivos de arroz, feijão, mandioca e milho possuem para os agricultores familiares maranhenses, seja como fonte de renda monetária e fomento à segurança alimentar, seja pelo uso na alimentação para animais de criação, como

é o caso do milho e da mandioca. Outro fato a destacar, e que pode tornar este trabalho de relevância, é a ausência de estudos que avaliem a sustentabilidade ou não dessas atividades no Maranhão.

Além do mais o Estado não é homogêneo no que se refere às suas condições climáticas, sobretudo na distribuição pluviométrica. Tanto é assim que Menezes (2009) dividiu o Maranhão em dez (10) regiões climáticas.

Nesta pesquisa busca-se responder à seguinte pergunta. Será possível cultivar arroz, feijão, mandioca e milho de forma sustentável nas dez regiões maranhenses caracterizadas pelas respectivas pluviometrias anuais, poupando terra, visando a reduzir as práticas de limpeza até aqui discutidas?

Caso essa resposta seja positiva de forma total ou parcial em algumas das dez regiões em que o Maranhão foi subdividido, acredita-se que terão sido encontradas alternativas para a produção daquelas quatro lavouras, contribuindo tanto para a redução do desmatamento quanto na utilização do fogo para limpeza das novas áreas desmatadas, com importantes externalidades positivas sobre os ambientes. As áreas poupadas poderiam ser destinadas a usos alternativos, tais como: serem deixadas em pousio para recomposição da cobertura original; promover reflorestamento com espécies adaptadas; cultivar árvores frutíferas. Essas possibilidades quando praticadas isoladamente ou em sinergia (opção que seria a desejada), além de poupar as terras excedentes do estresse de serem desmatadas e queimadas, permitiriam a manutenção da cobertura do solo, além de reter gás carbônico e prover rendas de médio e longo prazos para os agricultores.

Para responder a essa questão, os objetivos desta pesquisa são: a – aferir a estabilidade/instabilidade pluviométrica em cada uma das dez regiões em que se desenvolve o trabalho; b – mostrar as características da produção de arroz, feijão, mandioca e milho em cada um dos territórios homogeneizados pela pluviometria, da forma que ocorreram entre os anos de 1980 e 2016; c – estabelecer simulações que possibilitem a comparação entre os indicadores de sustentabilidade da produção simulada que pouparia terra.

## CONCEITOS ENVOLVIDOS NA PESQUISA

Nesta seção procede-se a uma sucinta discussão acerca dos três conceitos utilizados como âncoras de avaliação empírica para este estudo: sustentabilidade, vulnerabilidade e resiliência.

### Sustentabilidade

Na literatura sobre sustentabilidade é recorrente os autores sugerirem que o conceito deve ser estudado a partir de suas várias dimensões: econômica, social, tecnológica, ecológica, cultural e político-institucional. (PROJETO ARIDAS, 1995; SACHS, 2004; FERNANDES, 2005; LEMOS, 2012).

Quando, porém, o sistema econômico cresce de tal forma que a demanda e a pressão sobre o meio ambiente superam os seus limites, a economia entra em crise. Logo, a busca pela sustentabilidade econômica torna-se uma opção prioritária, tendo em vista que não atingir este objetivo pode desencadear problemas nas demais dimensões, assim como a falta dessa característica/condição nas demais dimensões afeta a vertente econômica de sustentabilidade.

De acordo com Bartelmus (2003), a vertente econômica da sustentabilidade está relacionada à manutenção do capital natural, requisito essencial para que não haja o enfraquecimento econômico. Ou seja, remete à capacidade que um sistema econômico tem em gerar renda, riqueza e ocupação de forma continuada e indefinida no tempo para a população, mediante a combinação mais eficiente dos recursos.

Na agricultura o conceito de sustentabilidade é tratado como a capacidade de garantir a permanência da produtividade, conservando a qualidade ambiental e mantendo os recursos naturais (REIJNTJES, 1994). Essa definição passou a receber grande importância quando se percebeu muitos efeitos danosos causados pelo modelo tecnológico produtivista que foi praticamente imposto aos agricultores nas décadas de 60/70, que se baseava em princípios de elevação da produtividade por meio do uso de insumos químicos, mecanização intensiva e cultivares de elevado rendimento (BUTTEL, 1989; REIJNTJES, 1994; GLIESSMAN, 2015). Apesar, entretanto, de esse modelo ter elevado os níveis de produtividade agrícola, ele teve como efeito colateral uma forte pressão sobre os recursos naturais, provocando desflorestamento e deterioração dos solos (ALMEIDA, 1997; HARRIGAN; LAWRENCE; WALKER, 2002; KAIMOWITZ, 2008).

Na perspectiva da presente pesquisa, na medida em que se consiga provar que é possível produzir os principais itens dos agricultores familiares maranhenses sem avançar em novas áreas e poupando parte daquelas já desmatadas, pode-se contornar alguns, ou quase todos esses problemas denunciados pelos autores referidos e que dificultam ou inviabilizam a sustentabilidade econômica desses cultivos, com rebatimento em outras dimensões dessa condição, como a tecnológica e a ambiental, que são aferidas indiretamente nesta pesquisa, tendo em conta a hipótese de que é possível produzir em áreas menores a mesma quantidade que se observa atualmente de arroz, feijão, mandioca e milho. Isso somente é possível via incremento de produtividade da terra ou pelo avanço tecnológico.

## Vulnerabilidade e Resiliência

De um ponto de vista holístico a vulnerabilidade pode ser entendida como a inabilidade de um sistema se contrapor aos efeitos de um ambiente hostil. Nessa perspectiva, esse conceito expressa a multidimensionalidade de fatores que, combinados com forças encontradas no meio ambiente, em um dado contexto social, produzem desastres (BANKOFF, 2004).

O conceito de resiliência emana da Física. Refere-se à capacidade que os materiais possuem de absorver energia sem sofrer deformação plástica ou permanente. Segundo Pimm (1991), resiliência é a rapidez com que um sistema, que tenha sido deslocado de uma situação de equilíbrio, retornar a esse ponto. A ideia implícita é a de que algo que antes estava em equilíbrio estável e, havendo condições favoráveis, a situação inicial tenderia a ser restabelecida.

Pode-se então fazer uma tentativa de definir resiliência como a capacidade que um sistema possui de absorver impactos externos e reorganizar-se, enquanto prepara mudanças para continuar mantendo as mesmas funções, estruturas, identidades e capacidades de prover retornos. A ênfase do conceito recai sobre a dinâmica de recuperação do sistema quando experimenta estresses que o retiram do seu estágio modal inicial.

É necessário ressaltar, contudo, que um sistema visto como vulnerável pode apresentar diferentes níveis de resiliência. Arouri, Nguyen e Youssef (2015), avaliaram o efeito dos desastres naturais sobre o bem-estar e a pobreza de famílias rurais no Vietnã utilizando regressões

comuns de efeitos fixos. Os autores verificaram que nas regiões com maiores níveis de renda e menor desigualdade as famílias são mais resistentes às catástrofes naturais. Além disso, o microcrédito e os subsídios sociais são muito importantes para que as famílias aumentem a renda e reduzam a flutuação do consumo (SAWADA *et al.*, 2006; AROURI; NGUYEN; YOUSSEF, 2015).

Na agricultura, os aspectos climáticos, o déficit hídrico, a erosão do solo e a degradação geral dos recursos dos ecossistemas são fatores que deixam produtores mais vulneráveis, impactando negativamente na resiliência da produção agrícola e das famílias que necessitam do alimento para sobreviver (CARPENTER; BENNETT; PETERSON, 2006; CABELL; OELOFSE, 2012). Existe, portanto, um antagonismo: de um lado a vulnerabilidade pela qual os agricultores familiares estão sujeitos aos riscos climáticos e socioeconômicos; por outro lado, há a necessidade de uma agricultura familiar que possua resiliência a esses estresses e que repercuta na dimensão socioambiental que seja capaz de absorver ou se recuperar de tais choques.

Conforme Brandão, Mahfoud e Nascimento (2011), as particularidades individuais podem influenciar as pessoas a se adaptarem de forma negativa ou positiva diante das adversidades. Sendo assim, as circunstâncias favorecerão um maior ou menor grau de resiliência. Abson, Fraser e Benton (2013) sugerem que a resiliência dos retornos agrícolas nas áreas rurais possa ser potencialmente aumentada por intermédio da diversificação do uso da terra. Nesse sentido, confirma-se o antagonismo existente entre resiliência e vulnerabilidade, pois quando sistemas tendem a ser resilientes, a situação de vulnerabilidade a adversidades deles tende a se reduzir (ADGER, 2000; CINNER; FUENTES; RANDRIAMHAZO, 2009).

Dessa discussão conceitual depreende-se que um sistema que tem elevada vulnerabilidade, terá baixa ou nenhuma resiliência. E sendo assim, não será sustentável. Os sistemas para serem sustentáveis precisam ser resilientes no longo prazo.

## METODOLOGIA

Esta seção destina-se à apresentação das ferramentas metodológicas utilizadas para formulação de uma resposta ao problema da pesquisa, o qual foi abordado na parte introdutória. Além disso, este tópico apresenta as fontes das informações e especifica o tratamento dos dados utilizados.

### Matriz de dados

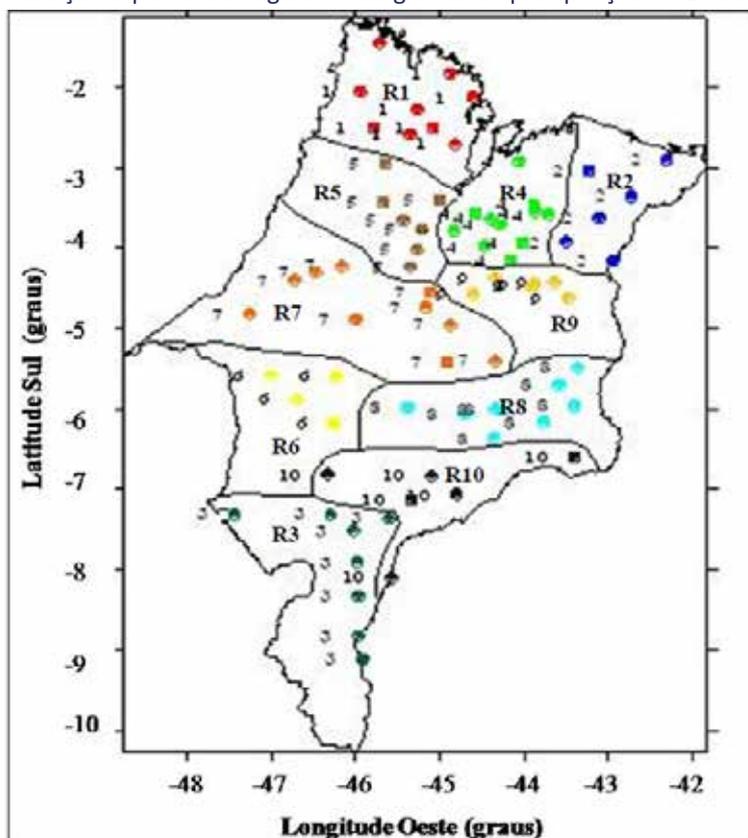
A base de dados utilizada na pesquisa é composta a partir de informações coletadas sobre a produção agrícola municipal no Sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra), disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nos anos a que se referem o estudo. Optou-se por trabalhar com as variáveis agregadas das quatro principais lavouras que compõem, predominantemente, a agricultura familiar dos municípios maranhenses (arroz, feijão, mandioca e milho) e são as seguintes: valor agregado da produção anual ( $V_{it}$ ;  $i = 1, 2, \dots, 10$ ), que na pesquisa foi utilizada como “proxy” da renda bruta associada às quatro lavouras; área agregada colhida anualmente em hectare das lavouras ( $A_{it}$ ); produtividade agregada da terra ( $kg \cdot ha^{-1}$ ,  $R_{it} = kg \cdot ha^{-1}$ ) (tratada no trabalho apenas como produtividade) das lavouras em cada uma das regiões; preço médio ( $P_{it}$ ) dos produtos por região.

A pesquisa também utiliza as populações dos municípios, retiradas do IBGE em vários anos, e as precipitações anuais (mm) dos municípios maranhenses obtidas no Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). Além disso, utilizou-se a série de salários mínimos anuais de 1980 a 2016. Todos os valores nominais utilizados na pesquisa foram corrigidos tomando por base o ano de 2016. Para tanto utilizou-se o IGP-DI da Fundação Getúlio Vargas.

Vale ressaltar que até 1996 só existem dados referentes aos 130 municípios maranhenses que eram computados pelo IBGE até então. Desses 130 municípios foram desmembrados outros 87, fazendo com que atualmente o Maranhão disponha de 217 municípios.

Os municípios foram agrupados em dez (10) regiões, tendo como base a pluviometria prevalente, conforme o trabalho de Menezes (2009). Esses territórios são formados por municípios que, segundo a proposta de regionalização, apresentam características de regime pluviométrico convergentes ou semelhantes. Na Figura 1 ilustra-se essa regionalização.

Figura 1 – Distribuição espacial das regiões homogêneas de precipitação no Estado do Maranhão



Fonte: MENEZES (2009).

As opções de análise descritas são feitas por se acreditar que elas proporcionarão uma visão mais geral de como se pratica o cultivo dessas lavouras agroalimentares nos municípios maranhenses, que foram submetidos a intensos antropismos antes, e no período estudado, sobretudo com o avanço da fronteira agrícola com a chegada do Matopiba<sup>4</sup> em 1990.

<sup>4</sup> O acrônimo designa uma extensão territorial formada pelos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

## Aferição da instabilidade climática das regiões

Para aferir a estabilidade/instabilidade da distribuição das precipitações pluviométricas nas dez regiões estudadas, utiliza-se o Coeficiente de Variação (CV), que afere a relação, em percentual, do desvio padrão de uma variável aleatória em relação à média aritmética.

Os CVs, portanto, aferem a dispersão ou variabilidade dos dados em relação à média. O Quadro 1 mostra a classificação do Coeficiente de Variação (CV) de acordo com as suas amplitudes, na definição de Gomes (1985).

Quadro 1 – Classificação do CV de acordo com sua amplitude

Classificação do CV	Amplitude do CV
Baixo	$CV < 10\%$
Médio	$10\% \leq CV < 20\%$
Alto	$20\% \leq CV < 30\%$
Muito Alto	$CV \geq 30\%$

Fonte: GOMES, 1985.

## Experimento para simular a produção sustentável de alimentos no Maranhão

O experimento que se desenhou neste estudo consiste na construção de dois grupos: Grupo Experimental (EXP) e o Grupo de Controle (CON). O EXP é construído simulando-se que as produções de arroz, feijão, mandioca e milho, de forma agregada, terão uma área máxima em que podem ser cultivadas. Esses valores simulados na pesquisa são as médias históricas das áreas em cada uma das dez regiões, observadas de 1980 a 2016. Com base neste procedimento,<sup>5</sup> o crescimento de produção e, por consequência, do valor da produção, dados os preços, apenas acontecerão via incremento de produtividade.

Sabe-se que a quantidade produzida num determinado ano ( $Q_t$ ) de um bem agrícola é dada pela multiplicação da área colhida no período ( $A_t$ ) pela produtividade ( $R_t$ ) no mesmo período. Assim, escreve-se que:

$$Q_t = A_t \cdot R_t \quad (1)$$

Quando se toma o logaritmo de uma variável aleatória e deriva-se em relação ao tempo, o resultado obtido refletirá a taxa de crescimento ou de aceleração do crescimento do que está sendo estudado. Aplicando-se esse procedimento aos termos da equação (1) obtém-se o seguinte resultado:

$$d(\log Q_t)/d_t = d(\log A_t)/d_t + d(\log R_t)/d_t \quad (2)$$

Pela equação (2) observa-se que o crescimento da produção agrícola se dá por duas vertentes: pela expansão da área e/ou pelo aumento da produtividade, ou por ambos, o que significa incremento de tecnologia. No grupo experimental impõe-se que:

<sup>5</sup> O detalhamento do procedimento metodológico proposto nesta pesquisa segue em material suplementar; para mais informações consultar Rocha (2018).

$d(\log A_{it})/d_t = 0$ , quando  $A_{it} > \check{A}_i$ ; e que

$d(\log A_{it})/d_t \neq 0$ , quando  $A_{it} \leq \check{A}_i$ ; sendo  $\check{A}_i$  a área média da  $i$ -ésima região ( $i = 1, 2, \dots, 10$ ) ao longo do período estudado.

Assim, para o Grupo Experimental este trabalho propõe que quando as áreas colhidas ultrapassarem a média histórica, serão congeladas no valor médio e qualquer ganho de produção apenas será possível via incremento de produtividade. Nesse Grupo Experimental admite-se que as produções anuais das lavouras nos anos em que as áreas excedam a média histórica serão iguais àquelas que efetivamente ocorreram sem esta imposição. Com este experimento, as áreas excedentes seriam poupadas e poderiam ter outros destinos, como entrarem em pousio, ou mesmo serem destinadas ao plantio de espécies florestais ou frutíferas.

Os Grupos de Controle (CON) terão as áreas colhidas efetivamente observadas e, em decorrência, todo o processo produtivo da forma que efetivamente aconteceu em cada uma das dez regiões no período de 1980 a 2016.

Para avaliar a sustentabilidade dos dois grupos estudados na pesquisa – experimental e de controle – construiu-se um índice de sustentabilidade (Isus) com as informações de cada um dos grupos. Nele são incorporadas variáveis que se supõe serem de utilidade para avaliar essa característica (sustentabilidade), desde que haja disponibilidade de informação em nível secundário, da produção agrícola maranhense.

Os indicadores e pesos utilizados na construção dos Isus nos EXP e nos CON são os mesmos, apenas diferindo na forma como foram construídos. No caso dos indicadores, além das variáveis endógenas sobre as quais os agricultores têm algum controle, como área a cultivar e produtividade, incorporam-se variáveis que lhes fogem ao controle, como precipitação de chuvas, preços dos bens agrícolas que produz e vende, crescimento da população e salário mínimo. Desse modo, foram criados os índices listados a seguir:

$IPR_{it}$  = Índice parcial de produtividade.

$IPP_{it}$  = Índice parcial de produção per capita.

$IVM_{it}$  = Índice parcial da relação valor da produção /salário mínimo.

$IPA_{it}$  = Índice parcial das áreas colhidas agregadas;

$IPC_{it}$  = Índice parcial das precipitações.

Com relação aos pesos, há pelo menos três possibilidades de estimá-los para a construção do Isus. A primeira consistiria em atribuir pesos iguais para cada indicador, porém, como se trata de uma decisão arbitrária, essa alternativa foi descartada. Uma outra possibilidade seria a geração dos pesos por meio do método de Análise Fatorial (AF), com decomposição em componentes principais. As variáveis utilizadas na pesquisa, entretanto, são independentes, ou seja, a matriz de correlação entre elas é uma identidade, o que inviabiliza a utilização do método de análise fatorial (FÁVERO *et al.*, 2009; LIRA; LEMOS; LIMA, 2016; ROCHA, 2018). Uma terceira alternativa para a definição dos pesos é utilizar técnicas de programação linear (PPL) (LANZER, 1982). Neste caso, a suposição é que as variáveis são linearmente independentes e não aleatórias. Esta foi a opção utilizada neste estudo, visto que as variáveis utilizadas são linearmente independentes e não aleatórias. Dessa forma, foram alcançados bons ajustamentos, conforme será demonstrado no tópico Resultados.

Em seguida os Isus estimados para o EXP são confrontados com os Isus estimados para o CON em cada uma das regiões. Para tanto, realizou-se o teste de contrastes de médias. Neste caso, define-se  $\mu_1$  como a média do primeiro grupo (maior em valor numérico) e  $\mu_2$  como a média do segundo grupo em teste (menor em valor numérico). A hipótese nula ( $H_0$ ) é que a diferença entre as médias dos dois grupos em confronto assume valor  $\theta$  (FÁVERO *et al*, 2009). Quando  $\theta = 0$  as médias dos dois grupos, que compõem o contraste que está sendo testado, são iguais. No presente estudo, em que os contrastes são construídos pelos Isus do grupo EXP e do grupo CON, espera-se que as médias dos grupos testados sejam significativamente diferentes ( $\theta \neq 0$ ) pela estatística t de “Student”.

Assim sendo, se no grupo experimental os valores do Isus forem estatisticamente mais robustos, sinalizará na pesquisa que este poderia ser um caminho promissor para o cultivo dessas lavouras em áreas menores com idênticos resultados econômicos aos praticados atualmente nas regiões. Assim, se comprovaria a hipótese básica desta pesquisa, que é possível cultivar lavouras alimentares em regiões maranhenses poupando áreas, bastando incrementar tecnologias.

A sustentabilidade seria econômica porque os agricultores conseguiriam a mesma produção física e o mesmo valor da produção numa área menor, diferentemente do que ocorre atualmente.

A sustentabilidade seria tecnológica porque a mesma produção dessas lavouras em áreas estabilizadas nas médias somente seria possível naquelas em que as áreas são superiores, caso as produtividades se elevassem. Para isso acontecer haveria a necessidade de introdução de novos cultivares, novas formas de cultivo, novas práticas culturais e uma ação mais efetiva do serviço de assistência técnica e assistência rural do Estado do Maranhão.

Sustentabilidade ambiental porque, caso o grupo experimental se mostre estatisticamente superior ao grupo de controle numa determinada região estudada, naqueles anos em que as áreas ultrapassam a média estabelecida no experimento, os excedentes poderiam ser deixados em pousio, recuperando a capoeira, com evidentes impactos na cobertura vegetal. Poderiam também, no entanto, ser destinadas ao reflorestamento com espécies de valor comercial no longo prazo, devidamente manejadas, ou para o cultivo de frutíferas perenes fomentadoras de renda para os agricultores. Todas essas opções impactariam positivamente os ambientes das regiões e podem ser consideradas sustentáveis, tal como definidas nesta pesquisa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação e discussão das evidências encontradas na pesquisa seguem o seguinte roteiro: primeiro mostram-se as estatísticas descritivas associadas às distribuições pluviométricas nas dez regiões estudadas. Em seguida as análises das variáveis relacionadas às produções agregadas de arroz, feijão, mandioca e milho em cada uma das regiões. Segue-se mostrando e discutindo os resultados encontrados na geração dos pesos da equação do Isus, bem como os valores obtidos ao longo das séries para o grupo EXP e para o grupo CON. Por fim, são apresentados os testes de contraste das médias dos Isus desses dois grupos.

## Comportamento da precipitação de chuvas em cada uma das dez regiões estudadas

Com relação ao indicador de precipitação de chuvas observa-se na Tabela 1 que as regiões possuem altos níveis pluviométricos, com chuvas mínimas acumuladas entre 533 mm e 1.124 mm e máximas acumuladas variando entre 2.000 mm e surpreendentes 3.579 mm. A grande heterogeneidade dos níveis pluviométricos apresentados pelas regiões pode ser atestada pelos altos valores dos coeficientes de variação dos indicadores, na maioria superiores a 20%. Segundo a classificação de Gomes (1985), tais valores são considerados altos ou muito altos. A maior heterogeneidade foi observada em R7 (CV=33,1%), e a região menos heterogênea, no que concerne à distribuição das chuvas entre os anos de 1980 e 2016, foi a R5, em que o CV estimado para o período analisado foi de 19,5% (Tabela 1).

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos indicadores de precipitação das regiões, no período de 1980 a 2016

Regiões	N	Mínimo	Máximo	Média	Coeficiente de variação (%)
R1	37	1.124	3.579	2.137	25,46
R2	37	864	2.925	1.618	27,06
R3	37	643	2.626	1.297	26,62
R4	37	675	2.765	1.711	28,29
R5	37	902	2.452	1.755	19,46
R6	37	820	2.250	1.437	24,37
R7	37	533	2.460	1104	33,10
R8	37	753	2.114	1.246	24,25
R9	37	795	2.515	1452	29,06
R10	37	567	1.999	1.174	24,02

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Esses resultados corroboram os encontrados por Menezes (2009). De acordo com este autor, a R1 localizada a Noroeste do Estado é a mais chuvosa, com média de 2.137 mm anuais, apresentando excessos hídricos nos meses de março e abril, e deficiência hídrica de agosto a dezembro. Nessa região também são encontradas áreas remanescentes do bioma amazônico, que são fortemente afetadas entre os meses de fevereiro e maio pelo sistema atmosférico denominado Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Esse sistema tem forte influência sobre toda a faixa Norte do Maranhão, sendo responsável por aproximadamente 70% das chuvas que ocorrem no ano. O tempo de permanência desse sistema influi diretamente na intensidade da estação chuvosa, com reflexos na produção agrícola de toda faixa Norte do Nordeste do Brasil (NUGEO/LABGEO, 2002).

Também se verifica que as regiões mais ao Sul possuem menores níveis pluviométricos que as localizadas mais ao Norte do Estado, que estão sob a influência do clima amazônico e fazem parte da Amazônia maranhense. A R10, localizada no Sudoeste do Estado, possui uma topografia que varia de 400 a 600m de altitude. Nela, forma-se uma espécie de barreira que impede a movimentação de sistemas que se deslocam da Amazônia e do Brasil Central. O efeito disso é a redução das precipitações totais anuais, o que torna essa região a menos chuvosa do Estado do Maranhão (MENEZES, 2009).

A variabilidade espacial (chuvas isoladas) e temporal das precipitações é um fator crítico para as atividades agrícolas. No Maranhão, é comum a ocorrência de veranicos,<sup>6</sup> fenômeno que é altamente prejudicial para a agricultura, sobretudo quando as lavouras encontram-se na fase reprodutiva, em que são mais sensíveis à deficiência hídrica. Além disso, grande parte do acumulado pluviométrico do Estado está concentrada nos primeiros quatro a cinco meses do ano, com os demais meses sendo desprovidos de volumes mais relevantes (NUGEO/LABGEO, 2002).

Percebe-se então a necessidade de que haja planejamento por parte dos agricultores familiares maranhenses, devidamente assessorados por um serviço de assistência técnica competente e provido pelo Estado, tendo em vista que a maioria não utiliza irrigação, cultiva sementes de baixa qualidade em termos de potencial produtivo e depende exclusivamente de níveis de precipitação ideais para ter boas colheitas.

Há de se destacar, no entanto, que níveis pluviométricos elevados também são prejudiciais para o desenvolvimento dos cultivos, tanto por contribuir para a disseminação de pragas, doenças e ervas invasoras, quanto pela redução de nutrientes, decorrente do processo de lixiviação e de escoamento superficial dos solos (SANTOS; MORAES; ARAÚJO, 2017). O excesso de chuva provoca também problemas como a embebição das sementes e a redução da taxa fotossintética; com isto, as plantas reduzem sua capacidade produtiva, o que resulta em menores produtividades. A variação na distribuição das chuvas e os seus extremismos no volume, de tal modo que impossibilitem a produção agrícola familiar, pode ser suficiente para reduzir a segurança alimentar e desorganizar toda a atividade econômica de uma região predominantemente rural.

Tais fenômenos, entretanto, não podem ser controlados e continuarão atingindo os agricultores familiares maranhenses. Assim sendo, a saída é proporcionar a esses produtores condições de convivência para suportar tais dificuldades pois, mesmo que toda a população rural esteja exposta à variabilidade da precipitação, os efeitos são diferenciados nos diferentes grupos sociais (ETZOLD *et al.*, 2014; NHEMACHENA; HASSAN, 2008). Como essas atividades produtoras de alimentos são muito vulneráveis a essas instabilidades pluviométricas, a proposta desta pesquisa em reduzir as áreas sem prejudicar a produção reforça a relevância desses resultados para o que se quer atingir nesta pesquisa.

### Pesos associados aos PPL e definição da equação do Isus

Na elaboração dos problemas de programação linear para as dez regiões homogêneas segmentadas no grupo EXP e no grupo CON, utilizou-se como coeficientes técnicos para as estimativas dos PPL (LANZER, 1982), em que se buscou a definição dos pesos associados a cada um dos coeficientes técnicos e os valores das médias históricas de cada um dos indicadores utilizados no trabalho.

Como os indicadores, mesmos diferentes em magnitudes, guardavam proporções aproximadas em todas as dez regiões, os pesos estimados em todas elas foram iguais. Assim, estimou-se a equação (3) para os Isus dos grupos experimental e de controle em todas as dez regiões homogêneas.

$$ISUS_{jt} = 0,20 IPR_{jt} + 0,15 IPP_{jt} + 0,15 IVM_{jt} + 0,25 IPA_{jt} + 0,25 IPC_{jt} \quad (3)$$

<sup>6</sup> Os veranicos são períodos de estiagem que duram no mínimo quatro dias e que ocorrem durante os períodos chuvosos de janeiro a março (NUGEO/LABGEO, 2002).

A Tabela 2 apresenta as médias, os coeficientes de variação das séries, bem como as Taxas Geométricas de Crescimento (TGC) dos Isus para os Grupos Experimental e de Controle em cada região. Os valores dos índices expressam, em termos percentuais, a evolução da sustentabilidade das culturas alimentares mais cultivadas pelos agricultores maranhenses.

Tabela 2 – Valores médios e CV dos Índices de Sustentabilidade (Isus) estimados para os Grupos Experimental e de Controle das regiões homogêneas quanto à precipitação do Maranhão de 1980 a 2016

Regiões	Grupo Experimental			Grupo de Controle		
	Médio	CV	TGC	Médio	CV	TGC
R1	60,90	12,30	0,00	50,50	7,40	-0,50**
R2	66,20	10,50	-0,04*	55,30	8,70	-0,50*
R3	58,70	12,80	0,00	46,80	7,70	-0,50*
R4	65,60	10,00	0,00	60,30	3,30	-0,30*
R5	63,20	13,10	-0,05**	55,90	11,40	-0,40*
R6	63,50	10,50	0,00	54,10	8,10	-0,50**
R7	58,50	11,70	0,00	45,50	10,50	-0,60**
R8	59,40	14,10	0,00	49,60	4,30	-0,40*
R9	60,90	12,60	0,00	51,70	9,70	-0,40*
R10	62,20	12,20	-0,06**	53,90	8,10	-0,30*

\*Significante a 1%; \*\*Significante a 5%.

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Ainda com base na Tabela 2 é possível verificar que as médias dos Isus são maiores nos grupos experimentais, em todas as dez regiões estudadas, mas mostra também que os CV do EXP são maiores em relação aos observados no CON também em todas as regiões, significando que, embora maiores de um ponto de vista numérico, os Isus do Grupo Experimental são mais instáveis ao longo do período analisado. A Tabela 2 também mostra que todas as regiões apresentaram TGCs negativas, com valores estatisticamente diferentes de zero ao menos com 5% de significância no grupo CON. Tal resultado sugere que em todas essas dez regiões as produções de arroz, feijão, mandioca e milho não são sustentáveis, na forma como são produzidas atualmente, de um ponto de vista dos indicadores utilizados nesta pesquisa.

No que se refere ao Grupo Experimental observa-se que apenas nas Regiões 2, 5 e 10 as TGCs foram negativas e estatisticamente diferentes de zero. Nas demais regiões o Isus manteve-se estável ao longo dos anos, com tendência positiva, haja vista que as TGCs apresentaram sinais positivos (Tabela 2).

Por outro lado, nas regiões com TGC negativa do Isus, constata-se a insustentabilidade na produção das lavouras de sequeiro. Neste sentido, algumas ponderações a respeito das prováveis causas desses resultados devem ser feitas. A região 2 está situada no leste do Estado, justamente onde Lemos e Fernandes (2016) apontaram que boa parte dos municípios apresenta características de semiárido. Sob essas condições de semiárido a produção agrícola de sequeiro fica ainda mais vulnerável devido às características texturais dos solos (mais de 40% da área detém solos de textura arenosa), pouca disponibilidade de matéria orgânica na superfície devido à intensa ação antrópica. Esses fatores contribuem para a baixa capacidade de retenção de água, que proporciona balanços hídricos negativos (LEMOS; FERNANDES, 2016). Vale considerar também que o declínio da produção das culturas analisadas afetou negativamente os índices IPP e IVM, devido a sua construção ter como numerador variáveis associadas à produção. Isso

sugere que as variações tanto do salário mínimo como do efetivo populacional dos municípios não foram respondidas com o aumento na produção desses alimentos no Estado. Esse resultado repercute na necessidade dos atacadistas e varejistas das regiões terem de importar produtos de outros Estados para suprir a demanda existente.

A Região 10 fica no Sul do Maranhão, região em que as lavouras alimentares tradicionais estão sendo substituídas por monoculturas, sobretudo de soja (LE MOS, 2015). Segundo Menezes (2009), os veranicos são frequentes nessa região, o que influencia diretamente na produtividade dos cultivos. Ali seria muito interessante introduzir tecnologias que fizessem com que a produtividade das lavouras aumentasse de forma significativa, visto que esses produtos compõem a base alimentar da grande maioria dos maranhenses. Também é importante ressaltar, contudo, que a simulação feita nesta pesquisa busca reproduzir nas regiões as melhores produtividades observadas ao longo das séries, portanto o fato dessas produtividades não serem suficientemente elevadas foi um fator-chave para o Isus do Grupo Experimental ter apresentado um decréscimo ao longo do período analisado. Nesse sentido, o artigo corrobora Alves, Campos e Vieira (2008) e Gabella e Zimmermann (2016), ao demonstrar o impacto negativo que a variabilidade das precipitações possui para a sustentabilidade das atividades agrícolas.

Em relação à Região 5, oeste do Estado, é onde se situa a Baixada Ocidental maranhense, a segunda região mais carente (logo depois do Leste do Estado). Região de pluviometria em geral abundante de forma espacial e temporal, em que as atividades agrícolas de sequeiro são praticadas seguindo os costumes repassados por gerações. A pluviometria dessa região é em média mais de 2.000 mm/ano, e em torno de 85% desse total cai durante a estação de cultivo, ou seja, 1.700 mm. Assim, as produtividades dessas lavouras acabam sendo baixas, para os padrões atuais, e homogêneas ao longo dos anos. Ou seja, o excesso de chuvas também é prejudicial, podendo ser responsável por quebra de safras e variabilidade na produtividade. Dificilmente se encontrará um ano em que se consiga destaque nessas produtividades. Isso ficou constatado no tratamento empírico das informações quando se estava definindo o Grupo Experimental (Tabela 2).

### Teste de contraste das médias dos Isus do grupo EXP e do grupo CON

Os resultados encontrados por meio dos testes de diferenças de médias entre o os Isus do grupo EXP e do grupo CON estão mostrados na Tabela 3. As evidências apresentadas nesta Tabela 3 sugerem que as médias encontradas para os Isus dos grupos EXP de todas as regiões foram estatisticamente superiores àquelas observadas para os grupos CON. Isto sugere que, ainda que no geral ambos não tivessem apresentado TGCs significativamente positivas, o que significaria sustentabilidade de longo prazo, é possível a obtenção de resultados mais promissores quando se persegue essa importante característica (sustentabilidade) na produção agrícola familiar de arroz, feijão, mandioca e milho em todas as regiões. Ou seja, os agricultores maranhenses poderiam continuar produzindo esses cultivos, sem prejudicar a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades (BENSON; CRAIG, 2014; WCED, 1987).

Tabela 3 – Resultados dos testes de contrastes anuais dos Isus entre os grupos experimentais e de controle no período de 1980 a 2016

Contrastes	Diferença Anual Média (R\$)	Desvio Padrão da diferença	CV Diferença (%)	Estatística t	Sign. (%)
R1 (EXP – CON)	10,42	5,21	50,02	12,160	0,000
R2 (EXP – CON)	10,92	5,16	47,25	12,873	0,000
R3 (EXP – CON)	11,89	6,31	53,05	11,465	0,000
R4 (EXP – CON)	6,26	5,39	86,14	7,062	0,000
R5 (EXP – CON)	7,30	5,01	68,71	8,853	0,000
R6 (EXP – CON)	10,42	5,21	50,02	12,160	0,000
R7 (EXP – CON)	13,05	5,76	44,14	13,782	0,000
R8 (EXP – CON)	9,81	5,08	51,82	11,738	0,000
R9 (EXP – CON)	9,22	6,13	66,55	9,140	0,000
R10 (EXP – CON)	8,32	4,69	56,40	10,785	0,000

Fonte: Valores estimados a partir dos dados originais do IBGE.

As evidências mostradas nas Tabelas 2 e 3 permitem hierarquizar as médias de todos os Isus de todas as regiões da seguinte forma:

$$EXP_i > CON_i; i = 1, 2, \dots, 10.$$

Este era o resultado esperado nesta pesquisa, que confirma o que se imaginava ao concebê-la. Caso seja possível fazer com que os agricultores maranhenses, situados naquelas dez regiões, recebam assistência técnica e serviço adequado de extensão rural, será possível produzir nos níveis atuais de produtividade das lavouras de sequeiro sem pressionar por mais desmatamentos, expansão da fronteira agrícola, e ainda liberar áreas para ficarem em repouso ou para propiciar aos agricultores atividades de reflorestamento e/ou de cultivo de frutíferas perenes. Com tais propostas, acredita-se que os impactos serão positivos sobre o ambiente nas regiões e econômico para as famílias, sem descuidar da produção e garantindo a segurança alimentar.

## CONCLUSÕES

A conclusão geral do trabalho é que os objetivos propostos foram alcançados, assim como foi confirmada a hipótese de que as médias dos índices de sustentabilidade estimados para os grupos experimentais são todos significativamente maiores do que as observadas nos grupos de controle.

Os resultados encontrados na pesquisa revelam que com a simulação de que as áreas colhidas fossem estabilizadas em seu valor médio, embora os Isus do Grupo EXP não apresentassem TGCs estatisticamente positivas ao longo do período analisado, mas mostrou que em apenas três das regiões estudadas o Isus apresentou tendência negativa de crescimento. Estes resultados combinados com aqueles decorrentes dos testes de contrastes que possibilitaram hierarquizar, em ordem decrescente, as médias de todos os Grupos Experimentais em relação aos Grupos de Controle, comprovam a hipótese central deste trabalho que é possível e muito mais interessante de um ponto de vista econômico e ambiental (porque se evita desmatamentos e se permite recuperações de áreas com reflorestamento, crescimento da capoeira

e/ou plantio de frutíferas bem mais econômicas), cultivar em áreas menores. Evidentemente que para isso ser possível é necessária uma inserção mais incisiva do Estado via políticas de pesquisa, assistência técnica, extensão e de crédito rural assistido, de modo a permitir que os agricultores maranhenses tenham condições tanto de incrementar as suas produções, como também de manter a segurança alimentar. Soma-se a isso a necessidade de auxiliar o acesso aos mercados públicos ou privados (feiras, varejistas, etc.) para que eles possam ofertar seus produtos, e assim, dinamizar suas formas de adquirir renda monetária.

Além disso, a proposta de elevação da produção mediante aumento da produtividade, mostrou-se uma alternativa mais factível de ser realizada, visto que o aumento da produtividade dos cultivos em cada região alcançaria patamares já observados no Estado do Maranhão ao longo dos anos. As produtividades mais elevadas, portanto, não são impossíveis ou mesmo difíceis de serem alcançadas.

Por fim, acredita-se que a pesquisa respondeu aos questionamentos formulados. Os resultados deste estudo são promissores na medida em que sugerem que é possível produzir arroz, feijão, mandioca e milho de forma sustentável nas dez regiões maranhenses, poupando áreas que podem ser utilizadas com outras finalidades, sem que haja redução na produção desses cultivos ou restrições que possam afetar a segurança alimentar e/ou a geração de renda monetária para as famílias.

Esses resultados liberam os agricultores para fomentarem mais renda nas suas propriedades a partir do cultivo de frutíferas, reflorestamento com espécies arbóreas de valores econômicos e que possam ser cultivadas com manejos adequados para que ele possa fazer planos de longo prazo de comercialização dessas árvores, que funcionarão como poupanças significativas. Poderão ainda cultivar pomares que, além de proverem a cobertura vegetal das áreas, lhes possibilitarão acesso a outras fontes de renda que têm maiores elasticidades de preços e rendas.

## REFERÊNCIAS

- ABSON, D. J.; FRASER, E. D. G.; BENTON, T. G. Landscape diversity and the resilience of agricultural returns: a portfolio analysis of land-use patterns and economic returns from lowland agriculture. *Agriculture & food security*, v. 2, n. 1, p. 2, 2013.
- ADGER, W. N. Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography*, v. 24, p. 347-364, set. 2000.
- ALMEIDA, J. Da ideologia do progresso à ideia de desenvolvimento (rural) sustentável. In: ALMEIDA, J.; NAVARRO, Z. *Reconstruindo a agricultura*. Porto Alegre, RS: UFRGS, 1997. p. 33-55.
- ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B.; VIEIRA, V. P. B. Análise de sustentabilidade agro-hidrometeorológica no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, p. 103-114, 2008.
- AROURI, M.; NGUYEN, C.; YOUSSEF, A. B. Natural disasters, household welfare, and resilience: evidence from rural Vietnam. *World development*, v. 70, p. 59-77, 2015.
- BANKOFF, G. In the eye of the storm: the social construction of the forces of nature and the climatic and seismic construction of God in the Philippines. *Journal of Southeast Asian Studies*, 35(1), p. 91-111, 2004.
- BARTELMUS, P. Dematerialization and capital maintenance: two sides of the sustainability coin. *Ecological Economics*, v. 46, n. 1, p. 61-81, 2003.
- BENSON, M.; CRAIG, R. The end of sustainability. *Society and Natural Resources*, 27, 777-782, 2014.
- BRANDÃO, J. M.; MAHFOUD, M.; NASCIMENTO, I. F. G. A construção do conceito de resiliência em psicologia: discutindo as origens. *Revista Paidéia*, Ribeirão Preto, v. 21, n. 49, p. 263-271, maio/ago. 2011.

- BUTTEL, F. H. How epoch making are high technologies? The case of biotechnology. *In: Sociological Forum*, Springer Netherlands, 4, p. 247-261, 1989.
- CABELL, J. F.; OELOFSE, M. An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, v. 17, p. 13, 2012.
- CARPENTER, S.; BENNETT, E.; PETERSON, G. Scenarios for ecosystem services: an overview. *Ecology and Society*, USA. V. 11, p. 14, mar. 2006.
- CINNER, J.; FUENTES, M. M. P. B.; RANDRIAMAHAZO, H. Exploring Social Resilience *In: Madagascar's Marine Protected Areas. Ecology and Society*, USA. v. 14, n. 1, p. 20, 2009.
- ETZOLD, B. *et al.* Clouds gather in the sky, but no rain falls. Vulnerability to rainfall variability and food insecurity in Northern Bangladesh and its effects on migration. *Climate and Development*, v. 6, n. 1, p. 18-27, 2014.
- FÁVERO, L. P. *et al.* *Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2009.
- FERNANDES, R. T. *Condições socioeconômicas e degradação ambiental dos recursos naturais no município de Vitória do Mearim/Ma*. 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Maranhão, 2005.
- GABELLA, J.; ZIMMERMANN, F. Gestão territorial, degradação ambiental e resiliência em áreas rurais da diagonal temperada árida argentina. *American Journal of Rural Development*, 4 (2), p. 49-58, 2016.
- GLIESSMAN, S. R. *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*. Boca Roton, Florida, USA. CRC press. 2015. Third Edition. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=AVi-3BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=agroecology+and+sustainable+food+systems&ots=YISmt57G0L&sig=P4Ex3EQ3aBJ7GTuDpkyTS6zQvk#v=onepage&q=agroecology%20and%20sustainable%20food%20systems&f=false>. Acesso em: 11 abr. 2017.
- GOMES, F. P. *Estatística experimental*. Piracicaba: Esalq, 1985.
- HORRIGAN, L.; LAWRENCE, R. S.; WALKER, P. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. *Environmental Health Perspectives*, v. 110, n. 5, p. 445, 2002.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP*. 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 10 abr. 2017.
- IBGE. *Censo Agropecuário 2017*. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 19 nov. 2019.
- KAIMOWITZ, D. The prospects for Reduced Emissions from Deforestation and Degradation (REDD) in Mesoamerica. *International Forestry Review*, v. 10 (3), 2008. Disponível em: [http://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/articles/akaimowitz0801.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/articles/akaimowitz0801.pdf)
- LANZER, E. A. *Programação linear: conceitos e aplicações*. Rio de Janeiro: Ipea, 1982.
- LEMOS, J. J. S. Mapa da exclusão social no Brasil: radiografia de um país assimetricamente pobre. Fortaleza. Banco do Nordeste do Brasil, 2012.
- LEMOS, J. J. S. Efeitos da expansão da soja na resiliência da agricultura familiar no Maranhão. *Revista de Política Agrícola*, v. 24, n. 2, p. 26-37, 2015.
- LEMOS, J. J. S.; FERNANDES, R. T. Inserir o Maranhão na geografia oficial do semiárido: um requisito de justiça social no nordeste brasileiro. *Geografares*, [S. l.], n. 21, p. 98-112, 2016. DOI: 10.7147/GEO21.11140. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/11140>. Acesso em: 20 set. 2020.
- LEMOS, J. J. S.; SOUZA, R. C. Sistemas agroextrativistas como alternativa de preservação da Palmeira de Babaçu no Maranhão. *Revista de Política Agrícola*, v. 2.018, p. 82-95, 2018.
- LIRA, J. S.; LEMOS, J. J. S.; LIMA, P. V. P. S. capacidade de recuperação da agricultura familiar do Nordeste brasileiro: uma análise para o período 1990 – 2012. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, Ceara, v. 47, n. 4, p. 107-121, out./dez. 2016.
- MENEZES, R. H. N. *Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do estado do Maranhão, Brasil*. 2009. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande, 2009.
- NHEMACHENA, C.; HASSAN, R. Micro-level Analysis of Farmers' Adaptations to Climate Change in Southern Africa. *IFPRI, Environment and Production*. Technology Division. Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 2008.

- NUGEO/LABGEO. *Atlas do Maranhão*. São Luís-MA: Universidade Estadual do Maranhão – Uema, 2002.
- PIMM, S. L. *The balance of nature?: ecological issues in the conservation of species and communities*. Chicago: University of Chicago, 1991.
- PROJETO ARIDAS. *A strategy for sustainable development in Brazil's Northeast*. Brasília: Iesea, 1995. 220 p.
- REIJNTJES, C. *Agricultura para o futuro: uma introdução à agricultura sustentável e de baixo uso de insumos externos*. Rio de Janeiro: AS-TA, 1994. 324 p.
- ROCHA, S. F. *Simulações de sustentabilidade e de formação de expectativas na produção de alimentos na agricultura familiar do Maranhão*. 2018. 114 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, 2018.
- SACHS, I. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.
- SANTOS, A. P. S.; MORAIS, L. C. F.; ARAÚJO, R. R. Risco e vulnerabilidade da biodiversidade maranhense relacionados ao clima. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, [S.l.], v. 1, p. 2.551-2.555, nov. 2017. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2459>. Acesso em: 6 dez. 2017.
- SAWADA, Y. *et al.* The impact of natural and manmade disasters on household welfare. *Invited paper prepared for presentation at the International Association of Agricultural Economists*. Austrália: Gold Coast, Aug. 2006. p. 12-18.
- SIDRA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Brasília, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>. Acesso em: 13 nov. 2017.
- WCED. World Commission on Environment and Development. *Brundtland commission*. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. 1987.