



Raissa Zurli Bittencourt Bravo

**Monitoramento e alerta de secas no Brasil: nova
abordagem baseada em um índice de risco**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Adriana Leiras
Co-Orientador: Prof. Fernando Luiz Cyrino Oliveira

Rio de Janeiro
março de 2021

Raissa Zurli Bittencourt Bravo

**Monitoramento e alerta de secas no Brasil: nova
abordagem baseada em um índice de risco**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Adriana Leiras

Orientadora
Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Fernando Luiz Cyrino Oliveira

Co-orientador
Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Ana Paula Martins do Amaral Cunha

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais -
CEMADEN

Prof. Antônio Márcio Tavares Thomé

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Dr. Daniel Ricardo Eckhardt da Silva

Nokia Siemens Networks do Brasil Sistemas de Comunicações

Prof. Renata Albergaria de Mello Bandeira

IME

Rio de Janeiro, 05 de março de 2021

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Raissa Zurli Bittencourt Bravo

Graduou-se em Engenharia de Produção com ênfase em Gestão de Pessoas em 2013. Concluiu Mestrado Acadêmico em Engenharia de Produção, na área de Logística Humanitária, pela PUC-Rio em 2015. Atualmente trabalha como empresária.

Ficha Catalográfica

Bravo, Raissa Zurli Bittencourt

Monitoramento e alerta de secas no Brasil : nova abordagem baseada em um índice de risco / Raissa Zurli Bittencourt Bravo ; orientadora: Adriana Leiras ; co-orientador: Fernando Luiz Cyrino Oliveira. – 2021.

116 f. ; 30 cm

Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2021.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Ameaça. 3. Vulnerabilidade. 4. Risco. 5. Seca. 6. Sistema de monitoramento e alerta. I. Leiras, Adriana. II. Oliveira, Fernando Luiz Cyrino. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

Dedico este trabalho a todos aqueles que sofrem com as secas no Brasil.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço à Deus pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa.

Gostaria de agradecer ao meu irmão, com quem compartilho minhas conquistas, pela ajuda no desenvolvimento da ferramenta DRAI, tanto na compra do domínio quanto na hospedagem e na estrutura do banco de dados, e aos meus pais pelo eterno incentivo aos estudos.

Agradeço à toda a equipe e infraestrutura da PUC-Rio que, há mais de 12 anos, vem sendo fundamentais na minha formação.

Agradeço à Prof^ª. Adriana Leiras e ao Prof. Fernando Cyrino por me orientarem e apoiarem neste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Resumo

Bravo, Raissa Zurli Bittencourt; Cyrino Oliveira, Fernando Luiz; Leiras, Adriana. **Monitoramento e alerta de secas no Brasil: nova abordagem baseada em um índice de risco**. Rio de Janeiro, 2021. 116p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A seca é um dos desastres naturais mais críticos que tem efeitos devastadores sobre habitats naturais, ecossistemas e muitos setores econômicos e sociais. Devido a esses graves impactos dos eventos de seca, muitos estudos estão focados no monitoramento, previsão e análise de risco de secas para auxiliar os planos de preparação e medidas de mitigação. Esta tese propõe um sistema de monitoramento e alerta de secas na região do semiárido do Brasil, chamado Drought Risk Assessment Interface (DRAI), que se baseia em um índice composto de risco de seca. O índice de risco possui duas componentes: ameaça e vulnerabilidade. A ameaça considera indicadores meteorológicos, enquanto a vulnerabilidade considera variáveis sociais. Com base na opinião de especialistas de vários países do mundo, com mais de 10 anos de experiência na área, foi definido o peso de cada um desses indicadores usando o processo de hierarquia analítica (AHP - Analytical Hierarchy Process). Os resultados foram comparados com outros índices de seca com o intuito de validar o índice proposto. Em seguida, foram levantados os principais sistemas de monitoramento e alertas em nível nacional e internacional e, então, foi proposto um padrão para geração de alertas no DRAI. Os alertas foram associados à sete medidas de mitigação de risco de seca validadas por técnicos locais. O DRAI tem como usuário final, além de outros pesquisadores, as Defesas Civas que poderão atuar diretamente nas ações de mitigação dos riscos. Como pesquisas futuras, sugere-se a automatização da coleta dos dados que compõem o índice de ameaça bem como a aplicação do estudo para todo o território brasileiro.

Palavras-chave

Ameaça; vulnerabilidade; risco; seca; sistema de monitoramento e alerta; índice composto; AHP

Abstract

Bravo, Raissa Zurlí Bittencourt; Cyrino Oliveira, Fernando Luiz; Leiras, Adriana (Advisor). **Monitoring and alerting droughts in Brazil: new approach based on a risk index**. Rio de Janeiro, 2021. 116p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Drought is one of the most critical natural disasters that have devastating effects on natural habitats, ecosystems and many economic and social sectors. Due to these severe impacts of drought events, many studies are focused on monitoring, forecasting and analyzing drought risk, to help with drought preparedness plans and mitigation measures. This study presents a drought early warning system in the semiarid region of Brazil, called the Drought Risk Assessment Interface (DRAI), which is based on a composite index of meteorological drought risk. The risk index has two components: hazard and vulnerability. The hazard considers meteorological indicators while the vulnerability considers social variables. Based on the opinion of experts from several countries in the world, with more than ten years of experience in the field, we define the weight of each of these indicators using the analytical hierarchy process (AHP). Then, the main early warning systems at national and international level were raised and then, a standard for generating warnings in the DRAI was proposed. The warnings were associated with seven drought risk mitigation measures validated by local technicians. DRAI has as its end user, in addition to other researchers, Civil Defenses that can act directly in risk mitigation actions. Finally, the system and its main features are presented. As future research, we suggest automating the collection of data that make up the hazard index as well as applying the study to the entire Brazilian territory.

Keywords

Hazard; vulnerability; risk; drought; early warning system; composite index; AHP

Sumário

1. Introdução	13
2. Revisão da Literatura	19
2.1 Metodologia.....	19
2.2 Resultados	25
3. Índice de Risco.....	33
4.1 Metodologia	33
4.2 Ameaça	35
4.2 Vulnerabilidade	41
4.3 Risco.....	46
4. Validação do Índice de Risco	48
4.1 Resultados	48
4.1.1 Índice de Ameaça.....	48
4.1.2 Índice de Vulnerabilidade	50
4.1.3 Índice de Risco.....	53
4.2 Discussões	55
4.2.1 Validação do Índice de Ameaça.....	55
4.2.2 Validação do Índice de Vulnerabilidade	58
4.2.3 Validação do Índice de Risco	62
5. DRAI	65
5.1 Metodologia.....	66
5.2 Desenvolvimento do sistema DRAI	68
5.2.1 Interface web.....	68
5.2.2 Estratégias para diferentes tipos de alertas do DRAI	71
5.3 Validação do Sistema DRAI	76

6. Conclusão	80
7. Referências	83
8. Apêndice A.....	92
9. Apêndice B.....	102
10. Apêndice C.....	114

Lista de figuras

Figura 1 – Fluxograma da Revisão da Literatura.....	24
Figura 2 – Número de Publicações por Ano	25
Figura 3 - Dados do INMET para a Estação de Barbalha (Ceará).....	37
Figura 4 - Municípios do Semiárido e Estações do INMET	38
Figura 5 - Mapa de Ameaça 2019	50
Figura 6 - Mapa de Vulnerabilidade (2019)	53
Figura 7 - Mapa de Risco 2019.....	54
Figura 8 - Validação do Índice de Ameaça para janeiro de 2019 (a) Índice de Ameaça (b) IIS (c) Monitor de Secas do Nordeste	55
Figura 9 - Validação do Índice de Vulnerabilidade 2015 (a) Índice de Vulnerabilidade (b) Índice de Vulnerabilidade do INPE	59
Figura 10 – IVDNS (a) Baseline (b) Projeções	61
Figura 11 – Risco de Seca e Registro de Ocorrência no S2iD (a) Milhã (b) Mombaça.....	63
Figura 12 – Validação do Índice de Risco para novembro de 2019 (a) Índice de Risco (b) Índice de Risco do CEMADEN.....	64
Figura 13 – Histograma de Valores do Índice de Risco em 2019 (a) Entre 0 e 1 (b) Ampliando o intervalo entre 0,10 e 0,36.....	69
Figura 14 – DRAI (a) Alerta (b) Modal para alerta	70
Figura 15 – Matriz de Ameaça x Vulnerabilidade e Estratégias de Mitigação (EM).....	75

Lista de tabelas

Tabela 1 – Principais Periódicos	25
Tabela 2 - Dimensão, Sub Dimensão e Indicadores (revisão da literatura).....	27
Tabela 3 - Formulação do Risco.....	30
Tabela 4 – Técnicas de Modelagem para o Risco de Secas	30
Tabela 5 - Área de Aplicação dos Artigos.....	31
Tabela 6 – Escala AHP.....	34
Tabela 7 - Categoria do Índice de Ameaça.....	40
Tabela 8 - Categoria do Índice de Vulnerabilidade	45
Tabela 9 - Categoria do Índice de Risco	46
Tabela 10 – Peso dos Indicadores de Ameaça.....	48
Tabela 11 – Peso dos Indicadores de Vulnerabilidade	51
Tabela 12 – Classificação dos Indicadores de Vulnerabilidade	51
Tabela 13 – Análise de Sensibilidade dos Pesos e Classificações.....	52
Tabela 14 – Análise de Sensibilidade dos Pesos	52
Tabela 15 – Estratégias de Mitigação (Adaptado Gutiérrez et al., 2014).....	73
Tabela 16 – Alertas e Plano de Ação.....	76
Tabela 17 – Alertas e Plano de Ação.....	79

Lista de Siglas

AHP - Analytical Hierarchy Process

AI - Aridity Index

ANA - Agência Nacional de Águas

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CENAD - Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres

DRAI - Drought Risk Assessment Interface

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IIS - Índice Integrado de Secas

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

IVDNS - Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais relacionados às Secas

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MDA - Ministério do Desenvolvimento Agrário

MMA - Ministério do Meio Ambiente

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

NDWI - Normalized Difference Water Index

OMM - Organização Meteorológica Mundial

PDSI - Palmer Drought Severity Index

PIB - Produto Interno Bruto

PROMETHEE - Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation

S2iD - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres

SAW - Simple Additive Weighting

SEDEC - Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

SPI – Standardized Precipitation Index

SPEI – Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index

SRI - Standardize Runoff Index

SUDEC - Superintendência de Proteção e Defesa Civil

TOPSIS - Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

VCI - Vegetation Condition Index

VHI - Vegetation Health Index

VSWI - Vegetation Supply Water Index

1. Introdução

A seca é um dos desastres naturais mais custosos, com impactos desastrosos na sociedade e nos ecossistemas, como a seca nos EUA (Estados Unidos da América) em 2012 e a na África Oriental em 2010/2011, que levou a perdas econômicas substanciais e fome em todo o mundo (Hao et al., 2017). A seca pode ser definida como um fenômeno climático recorrente, resultado da redução das chuvas, e torna a água disponível insuficiente para atender às necessidades de seres humanos e ecossistemas (Ortega-Gaucin et al., 2016).

A seca é também definida como um desastre natural de início lento, que é um tipo de desastre pouco coberto pela literatura acadêmica estudada (Bravo et al., 2019a). As secas geralmente se estendem por uma estação ou por períodos mais prolongados, o que têm um efeito devastador sobre habitats naturais, ecossistemas e muitos setores econômicos e sociais (Zhang et al., 2014). É considerado o mais complexo, mas menos compreendido, dos riscos naturais, afetando mais pessoas do que qualquer outro desastre (Murthy et al. 2017).

Do ponto de vista do fenômeno natural, a seca não é considerada um desastre, a menos que o déficit hídrico afete diretamente as atividades humanas e exceda a capacidade do sistema social de responder (Cunha et al., 2019a). De acordo com essa definição, a seca tem duas componentes: natural e social. O risco associado à seca é uma combinação da exposição da região ao evento natural (ameaça) e da vulnerabilidade da sociedade ao evento (Wilhite, 2000a). A ameaça é a “probabilidade de ocorrência de um evento prejudicial em um determinado período”, geralmente determinada pela frequência e intensidade de uma seca, onde a frequência é a proporção do número de secas que ocorre durante o período analisado (Kuswanto et al., 2018; Brito et al., 2018) e a intensidade pode ser determinada por um índice que pode avaliar razoavelmente a gravidade de uma seca (Jiang et al., 2018). A vulnerabilidade, de acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC (2014), é a propensão ou predisposição a ser adversamente afetado, o que engloba uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou susceptibilidade a danos e a falta de capacidade para

lidar e adaptar aos efeitos adversos da mudança do clima. O relatório de avaliação do IPCC mostra que a vulnerabilidade deve considerar três componentes do sistema: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa (Murthy et al., 2015). De acordo com Xiaoqian et al. (2013), a exposição mede a frequência, duração ou proporção de estresse em um sistema, enquanto sensibilidade é o grau em que um sistema é afetado por esse estresse, e capacidade adaptativa é a capacidade do sistema para lidar com esse estresse.

Em termos de tipologia, a seca pode ser meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica, de acordo com a duração. A seca meteorológica é a primeira fase e ocorre quando há uma deficiência de precipitação em um período predeterminado (UNISDR, 2009). Então, na seca agrícola começa a falta de disponibilidade de água do solo para suportar o crescimento das culturas (UNISDR, 2009). Depois disso, na fase hidrológica, há deficiências no suprimento de água superficial e subterrânea, em relação às condições médias, em vários momentos no decorrer das estações (UNISDR, 2009). A seca socioeconômica reflete a relação entre a oferta e a demanda de alguma *commodity* ou bem econômico que depende da precipitação.

Para entender a seca agrícola, hidrológica e socioeconômica, deve-se estudar o mecanismo de variação e formação da seca meteorológica, pois é a base para outros tipos de seca (Guo et al., 2017) e, portanto, a primeira a ser percebida.

No Brasil, a seca afeta principalmente a região semiárida do nordeste do país. A região semiárida brasileira é a maior do mundo e possui uma área de 1.128.697 km², correspondendo a 13,25% do território nacional, 72,44% da região nordeste e compreende 1.262 municípios com uma população de 28 milhões de habitantes (SUDENE, 2019). Entre 2012 e 2016, 20 milhões de pessoas em 1.100 municípios da região semiárida foram afetados pela seca e o governo investiu 1,3 bilhão de dólares em um plano de mitigação de riscos, chamado Garantia-Safra (benefício financeiro por perda de safra) e outros 1,5 bilhão de dólares em um plano de resposta, chamado "Operação Carro-Pipa" (operação que leva água para consumo humano em áreas afetadas pela seca na região Nordeste) (Cunha et al., 2019a).

Além de ter esse impacto financeiro na economia brasileira, a recorrência da seca é inevitável, pois é uma característica normal do clima (Wilhite, 2000b) e, além disso, espera-se que esse fenômeno se torne mais frequente e severo devido ao aumento da demanda de água, abastecimento de água limitado e incerto e regimes de precipitação mais extremos (Nam et al., 2015).

Por esses motivos, é essencial que líderes e planejadores de regiões propensas à seca compreendam que o risco de seca é uma combinação entre a exposição à ameaça natural e as vulnerabilidades socioeconômicas e ambientais associadas a esse evento (Cunha et al., 2019a) para, posteriormente, estabelecerem estratégias adequadas e inovadoras para mitigação e preparação para riscos de seca (Nam et al., 2015).

Nos últimos anos, índices de ameaça de seca, como o *Standardized Precipitation Index* (SPI) e o *Palmer Drought Severity Index* (PDSI), vem sendo utilizados como ferramentas cruciais para a avaliação de secas (Zhang et al., 2014). A força do SPI vem de sua entrada (apenas dados de precipitação), sua aplicação (pode ser usada em todos os regimes climáticos) e sua flexibilidade (pode ser calculada em várias escalas de tempo). Essa amplitude de aplicação fez do SPI o principal índice de seca da Organização Mundial de Meteorologia (OMM). O PDSI é amplamente utilizado em todo o mundo porque considera os dados do solo e tem uma metodologia de balanço hídrico total que o torna bastante robusto para identificar a seca. No entanto, para criar um sistema eficaz de monitoramento e previsão de secas, é recomendado basear-se em um índice composto, com base em vários indicadores de seca (Murthy et al., 2017; Buurman et al., 2019; Pei et al., 2019; Wang et al., 2019; Zarafshani et al., 2019; Zeng et al., 2019; Hoque et al., 2020; Wang et al., 2020). O uso de vários indicadores é importante para identificar as convergências de evidências das condições de seca, o que aumenta a confiabilidade na tomada de decisões (Cunha et al., 2019a). Para a componente ameaça, podem ser considerados indicadores como altas temperaturas, ventos fortes e baixa umidade relativa, frequentemente associados com seca (Wilhite, 2000b; Jia et al., 2012), enquanto para a componente vulnerabilidade, podem ser considerados indicadores socioeconômicos relacionados ao uso da água, da terra e dados econômicos (Tánago et al., 2016).

Sharafi et al. (2020) acreditam que para um gerenciamento eficaz da seca, o índice de risco deve estar alinhado com os sistemas de alerta precoce da seca. Inúmeros índices de ameaça de seca foram desenvolvidos para qualificar e quantificar diferentes estágios da seca e várias tentativas foram e estão sendo feitas para desenvolver sistemas de aviso prévio à seca baseados na *web* para capturar (quase) em tempo real esses eventos de seca (Hoek et al., 2019). Este estudo tem como objetivo unir os dois pontos levantados por Sharafi et al. (2020), ou seja, o

desenvolvimento de um sistema *web* para a gestão do monitoramento e alerta precoce de secas com base em um índice composto de risco, que considere as componentes ameaça e vulnerabilidade.

Conforme detalhado no Capítulo 3, a literatura aponta apenas sete artigos (Neri e Magaña, 2016; Olivares et al., 2017; Wang et al., 2019; Wang e Meng, 2013; Guo et al., 2017; Zhang et al., 2014; Wu et al., 2015) que desenvolveram índices compostos para avaliar a seca meteorológica, mas nenhum deles foi aplicado no Brasil. Apenas um desses sete artigos aborda a componente ameaça (Wang e Meng, 2013) mas, ainda assim, apenas na sua componente de intensidade, sem considerar a frequência das secas.

Em relação à componente vulnerabilidade, também foram encontradas lacunas nas publicações. Tánago et al. (2016) realizam uma revisão sistemática da literatura, sem aplicar filtros de restrição de tempo, e avaliaram 46 artigos sobre vulnerabilidade à seca. Tánago et al. (2016) concluem que é necessário aumentar os esforços, especialmente na América do Sul. Tánago et al. (2016) classificam os indicadores de vulnerabilidade de acordo com dimensões e subdimensões e concluem que 42% dos artigos revisados incluem menos de cinco subdimensões e nenhum deles inclui fatores de todas as subdimensões. Em termos do processo de validação, apenas 13% dos estudos consideram o conhecimento dos profissionais da área. Na revisão da literatura apresentada no Capítulo 3, também não constam estudos de vulnerabilidade à seca no Brasil, voltados para a região do semiárido, e mais de 67% dos indicadores aparecem apenas uma vez nos trabalhos revisados, o que destaca que poucos indicadores são consistentemente usados pelos autores.

Em relação aos sistemas de monitoramento e alerta, Cunha et al. (2019b) e Hoek et al. (2019) resumem as principais soluções implementadas para monitorar as secas. No Brasil, apenas o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) faz o monitoramento do risco com base na ameaça e na vulnerabilidade, através do Índice Integrado de Secas (IIS), que monitora a situação da seca e seus impactos desde 2012 e considera principalmente três indicadores – precipitação, dados da condição da água da vegetação e umidade do solo. No entanto, como o Brasil conta com diversas instituições que atuam na geração, distribuição e integração de dados relacionados a eventos meteorológicos, e essas instituições possuem responsabilidades complementares, o protocolo para geração de alertas, a partir do IIS e de outros índices, é resultado da atuação

conjunta dessas diferentes instituições, como o CEMADEN e o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) (Marchezini et al., 2017).

Em nível mundial, Hoek et al. (2019) mostram que as principais soluções utilizam dados de satélites como, por exemplo: *US Drought Monitor*, *European Drought Observatory*, *GEO Global Agriculture Monitoring project (GEOGLAM)*, *Soil Moisture Data Viewers*, *Global Agricultural Drought Monitoring and Forecasting system*, *Earth Observation Monitor (EOM)*, *Experimental African Drought Monitor*, *Global Integrated Drought Monitoring and Prediction System (GIDMaPS)*, *SPEI Global Drought Monitor e Agricultural Stress Index System (ASIS)*. Além disso, os sistemas de monitoramento e alerta focam mais na componente ameaça, através de índices como *SPI*, *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*, *Normalized Difference Water Index (NDWI)*, *Vegetation Condition Index (VCI)* e *SPEI*, e não geram alertas.

A partir das lacunas identificadas na revisão da literatura, sobre a construção de índices compostos e sistemas de monitoramento e alerta, a presente tese tem como objetivo principal o desenvolvimento do sistema *DRAI (Drought Risk Assessment Interface)* de monitoramento e alerta de risco de secas meteorológicas na região do semiárido do Brasil, através da criação de um índice composto, baseado nas componentes ameaça e vulnerabilidade. Como objetivos secundários tem-se o mapeamento do estado da arte sobre ameaça, vulnerabilidade e risco de secas, a criação e validação de índices compostos para avaliar ameaça, vulnerabilidade e risco, o levantamento de estratégias de mitigação associadas aos alertas gerados pelo *DRAI* e a validação do sistema *DRAI*.

Esta pesquisa é considerada aplicada, qualitativa e quantitativa, descritiva e explicativa. Para atingir o objetivo proposto, foi feita uma pesquisa bibliográfica, através da revisão de escopo da literatura para o levantamento do estado da arte. Em seguida, na metodologia de desenvolvimento dos índices compostos foi utilizado o *Analytical Hierarchy Process (AHP)* - um método de tomada de decisão com vários critérios, baseado em comparações em pares de elementos em uma hierarquia (Saaty, 1977). Este método foi utilizado para ponderação dos indicadores através da opinião de especialistas, que foi coletada através de um questionário (*survey*).

Além de preencher as lacunas acadêmicas encontradas no desenvolvimento de índices compostos para as componentes ameaça e vulnerabilidade da seca no

semiárido do Brasil, a contribuição deste estudo também considera o desenvolvimento de um produto tecnológico que permite o gerenciamento do risco de secas através do monitoramento e alerta.

A tese encontra-se organizada em sete capítulos. O primeiro capítulo contextualiza o tema, apresentando o problema de pesquisa, as lacunas, objetivos e contribuições. No segundo capítulo, é apresentada a metodologia da pesquisa utilizada na revisão da literatura, no desenvolvimento dos índices compostos de ameaça, vulnerabilidade e risco e na criação do sistema DRAI. No terceiro capítulo, são apresentados os resultados da revisão da literatura. No quarto capítulo, o processo de criação dos índices compostos é apresentado. No quinto capítulo são apresentados os principais resultados dos índices e validação através da comparação com índices já existentes no Brasil. No sexto capítulo, são apresentados os sistemas de monitoramento e alerta de secas, o DRAI e as respectivas estratégias de mitigação de risco para cada tipo de alerta gerado, além da validação da estratégia gerada pelo DRAI e, por fim, o sétimo capítulo apresenta as principais conclusões da pesquisa, apresenta as limitações do estudo e a sugestão de pesquisas futuras.

2. Revisão da Literatura

Neste capítulo, será apresentada a metodologia utilizada na revisão da literatura e os resultados encontrados através das seguintes análises: publicações por ano, principais periódicos, tipologia da seca, componentes do risco e seus principais indicadores, formulação e técnicas mais utilizadas para modelagem do risco e publicações por área de aplicação.

2.1 Metodologia

A revisão da literatura foi feita de forma focada no tema a ser estudado e, portanto, foi feita uma revisão de escopo. As revisões de escopo são uma ferramenta ideal para determinar o escopo ou cobertura da literatura sobre um determinado tópico e dar uma indicação clara do volume de literatura e estudos disponíveis, bem como uma visão geral (ampla ou detalhada) de seu foco. As revisões de escopo são úteis para examinar evidências emergentes quando ainda não está claro que outras questões mais específicas podem ser colocadas e abordadas de forma valiosa por uma revisão sistemática mais precisa. Eles podem relatar os tipos de evidências que abordam e informam a prática no campo e a forma como a pesquisa foi conduzida (Munn et al., 2018).

O objetivo da revisão de escopo é identificar e mapear as evidências disponíveis. Munn et al. (2018) sugerem alguns propósitos para a realização de uma análise de escopo, e são eles: identificar os tipos de evidências disponíveis em um determinado campo, esclarecer os principais conceitos ou definições na literatura, examinar como a pesquisa é conduzida em um determinado tópico ou campo, identificar as principais características ou fatores relacionados a um conceito, identificar e analisar lacunas de conhecimento ou como um precursor para uma revisão sistemática.

Desta forma, para identificar e mapear as evidências disponíveis sobre as secas, a revisão de escopo foi feita com base nas técnicas da revisão sistemática da literatura proposta por Thomé et al. (2016a).

Thomé et al. (2016a) propôs uma abordagem passo a passo, para orientar uma revisão da literatura em gestão de operações, consistindo em oito etapas: (i) planejamento e formulação do problema, (ii) pesquisa na literatura, (iii) coleta de dados, (iv) qualidade avaliação, (v) análise e síntese dos dados, (vi) interpretação, (vii) apresentação dos resultados e (viii) atualização da revisão.

Na primeira etapa, planejamento e formulação do problema, o objetivo da revisão é compreender as tendências de publicação sobre risco de secas por meio dos seguintes indicadores: publicações por ano, principais periódicos, tipologia da seca, componentes do risco e seus principais indicadores, formulação e técnicas mais utilizadas para modelagem do risco e publicações por área de aplicação.

Na segunda etapa, pesquisa na literatura, a busca na literatura foi realizada em 22/10/2020 e as bases de dados consideradas foram *Scopus* e *Web of Science* por serem as bases de dados mais extensas e centrais, de acordo com Mongeon e Paul-Hus (2016), e usando as duas, reduz-se a chance de viés relacionado a periódicos indexados em uma única base de dados, além de tornar a pesquisa mais abrangente. Thomé et al. (2016b) defendem o uso de ambas porque sua cobertura é de cerca de 22.000 periódicos dos principais editores de artigos revisados por pares. As palavras-chave utilizadas foram: (*relief OR humanitarian OR disaster OR emergency OR crisis*) AND ("*drought risk*" OR "*drought hazard*" OR "*drought vulnerability*" OR "*drought exposure*"). A pesquisa considerou esses termos no título do artigo, no resumo e nas palavras-chave. O primeiro grupo de palavras-chave ajuda a limitar a busca ao âmbito da logística humanitária, caso contrário, a saída da pesquisa consideraria estudos relacionados ao risco de seca para a saúde humana, por exemplo, que não é o foco desta pesquisa. O segundo grupo de palavras-chave ajuda a limitar a busca em torno das componentes da seca: ameaça (comumente usada como exposição), vulnerabilidade e risco. Em seguida, os resultados foram filtrados de acordo com o tipo de documento (*articles, article in press, review and conference papers*) e o idioma (inglês). Filtros de restrição de tempo não foram considerados. Por fim, removeu-se os documentos duplicados e os resumos foram lidos para que fosse decidido quais documentos eram relevantes. É importante destacar que apenas um autor fez a revisão dos artigos, o que é uma limitação deste estudo. Os documentos considerados relevantes foram aqueles cuja principal contribuição é um método de avaliação de risco de seca e não aqueles que consideraram a seca apenas como um contexto. Este critério de exclusão

desconsiderou principalmente estudos sobre mudanças climáticas que citam a seca apenas como um dos exemplos de desastres que podem ser intensificados ao longo dos anos, mas não tratam a seca como questão central do estudo. Esta etapa resultou em 193 artigos relevantes. Vale ressaltar que após a leitura completa dos artigos, não foi feita a exclusão de mais nenhum item.

Na terceira etapa, coleta de dados, foram extraídos alguns atributos desses artigos relevantes, quais sejam: autores, título, ano, fonte, volume, fascículo, páginas, resumo, tipo de documento, DOI e link.

Na quarta etapa, avaliação da qualidade, foram selecionados não só artigos de revisão por pares, que é um indicador primário da qualidade dos artigos considerados na pesquisa, mas a literatura cinza também foi considerada (artigos publicados em anais de conferências, sites de organizações relevantes e opinião de especialistas). A literatura cinza é definida como “um campo da ciência da informação que lida com a produção, distribuição e acesso à vários tipos de documentos produzidos em todos os níveis, por governos, acadêmicos, empresas e organizações, em formatos eletrônicos e impressos, não controlados pela publicação comercial, ou seja, onde a publicação não é a atividade principal do organismo produtor” (GreyNet, 2019).

Artigos publicados em anais de conferência também foram considerados para cobrir possíveis lacunas nos artigos revisados por pares. No entanto, 82% dos estudos retornados são artigos de periódicos, o que reforça a etapa de avaliação de qualidade da metodologia de revisão da literatura adotada.

Além das bases de dados selecionadas, um conjunto de organizações e institutos meteorológicos brasileiros relevantes para a área de pesquisa foram escolhidos para considerar a contribuição dos praticantes, conseqüentemente, minimizando as chances de exclusão de metodologias relevantes (Eckhardt et al., 2019). Eles são CEMADEN, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Nacional de Águas (ANA). O CEMADEN monitora, 24 horas por dia, as áreas de risco de municípios classificados como vulneráveis a desastres naturais em todo o território nacional. Gerencia as informações emitidas por radares meteorológicos, pluviômetros e dados provenientes de previsões climáticas, repassando as informações para os órgãos competentes em todo o Brasil, visando antecipação perante possíveis ocorrências de situações meteorológicas que possam levar a ocorrência de um desastre natural (CEMADEN, 2019). O INMET tem como

objetivo prover informações meteorológicas à sociedade brasileira e influir construtivamente no processo de tomada de decisão, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país. Esta missão é alcançada por meio de monitoramento, análise e previsão de tempo e de clima, que se fundamentam em pesquisa aplicada, trabalho em parceria e compartilhamento do conhecimento, com ênfase em resultados práticos e confiáveis (INMET, 2021). A ANA tem como função implementar e coordenar a gestão compartilhada e integrada dos recursos hídricos e regular o acesso a água, promovendo o seu uso sustentável em benefício da atual e das futuras gerações.

Ainda considerando a literatura cinza, foram realizadas duas pesquisas (Apêndice A) com especialistas, onde uma das questões teve como objetivo coletar informações sobre os métodos mais utilizados para avaliação de risco de seca. A primeira pesquisa, que teve como objetivo a componente ameaça, foi respondida por 22 entrevistados que são pesquisadores, climatologistas, diretores executivos e consultores que trabalham com a seca, em média há 19 anos, em universidades da Espanha, EUA, Índia, Itália, África do Sul, Coreia do Sul e China, e centros meteorológicos como o Centro Nacional de Mitigação da Seca dos EUA, o Centro Nacional de Sensoriamento Remoto da Índia, o Departamento Meteorológico do Paquistão e o CEMADEN. Esta pesquisa foi enviada para todos os autores correspondentes dos artigos que compõem a revisão de literatura. Um lembrete foi enviado aos especialistas 15 dias após o envio da pesquisa. A segunda pesquisa, que teve como objetivo a componente vulnerabilidade, foi respondida por 20 especialistas, com uma média de catorze anos de experiência em campo, de mais de dez países (Gana, Paquistão, EUA, México, Brasil, Espanha, Grécia, Venezuela, Itália e China). Esta pesquisa foi enviada para a mesma amostra da pesquisa sobre a componente ameaça, porém, como foram obtidas poucas respostas, a amostra foi estendida para contemplar não só os autores correspondentes, mas todos os autores dos artigos que compõem a revisão da literatura. Um lembrete também foi enviado aos especialistas 15 dias após o envio da pesquisa. Em caso de empate nas opiniões dos respondentes em relação à classificação de indicadores de vulnerabilidade, os artigos da revisão da literatura foram utilizados para desempatar a classificação.

Na quinta etapa da metodologia, análise e síntese dos dados, os autores focaram nos dados contextuais, como publicações por ano, principais periódicos, tipologia da seca, componentes do risco e seus principais indicadores, formulação

e técnicas mais utilizadas para modelagem do risco e publicações por área de aplicação. Esses dados foram sintetizados em uma planilha onde foi feita a classificação dos artigos de acordo com estes critérios.

A sexta e sétima etapas, interpretação e apresentação dos resultados, são apresentadas na próxima seção.

A oitava etapa, atualizar a revisão, é sugerida como trabalhos futuros.

A Figura 1 resume os resultados de acordo com os critérios utilizados na revisão da literatura.

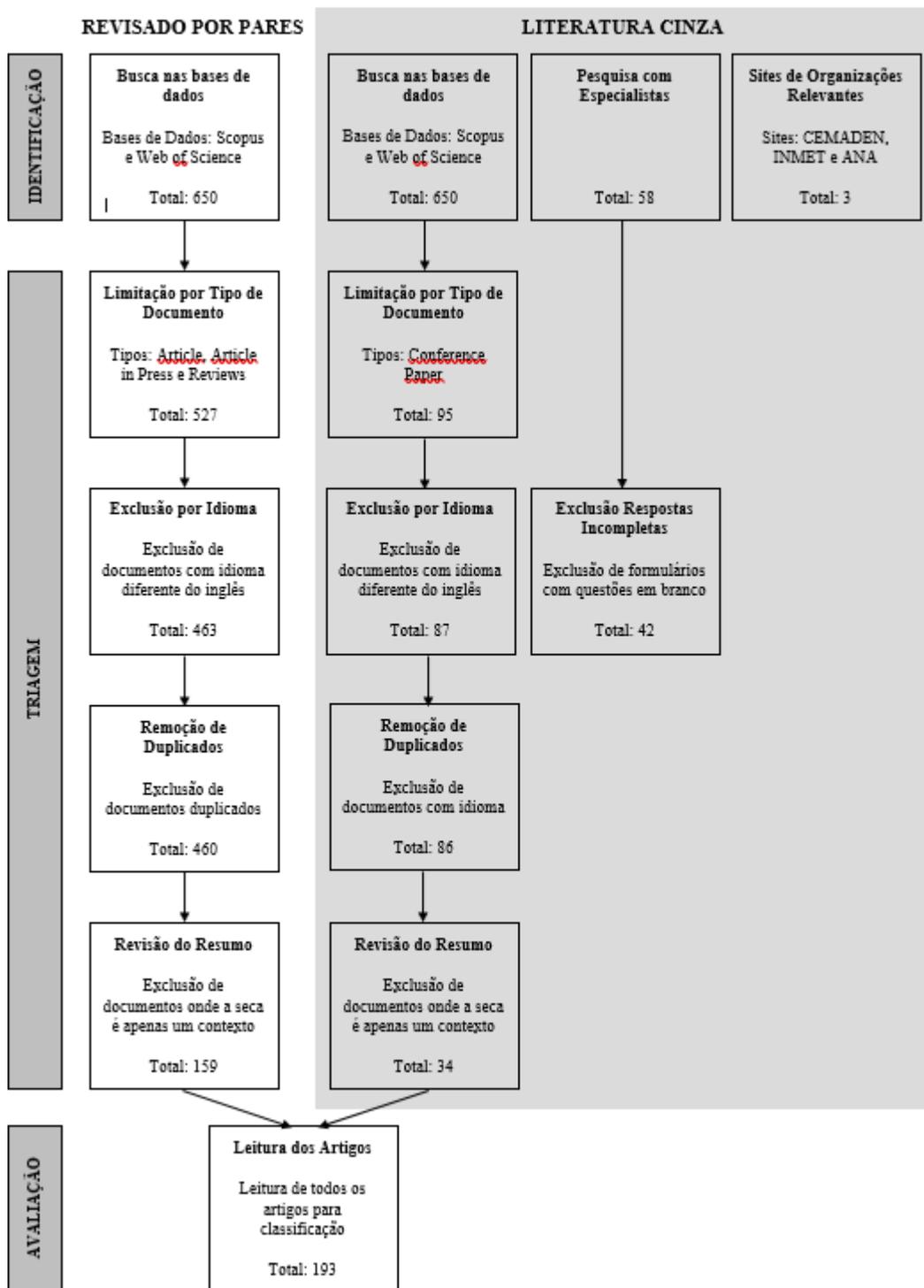


Figura 1 – Fluxograma da Revisão da Literatura

2.2 Resultados

A Figura 2 mostra o número de publicações ao longo dos anos, em que 89% ocorreram nos últimos dez anos. Esse crescimento acentuado começa em 2011, quando 100% dos artigos foram desenvolvidos na China, país que sofreu três secas severas de janeiro de 2009 a abril de 2010 (Ye et al., 2012). Em 2015 houve um segundo aumento no número de publicações e a China continuou liderando o ranking com 31% dos artigos, em segundo lugar a Índia, com 19%, e os EUA, com 8%, devido às secas na Califórnia. Em 2018, novamente, a China foi a principal responsável pelo número de artigos, com 56% deles. É importante notar que 65% das publicações da China que especificam a tipologia da seca a ser estudada abordam a agrícola.

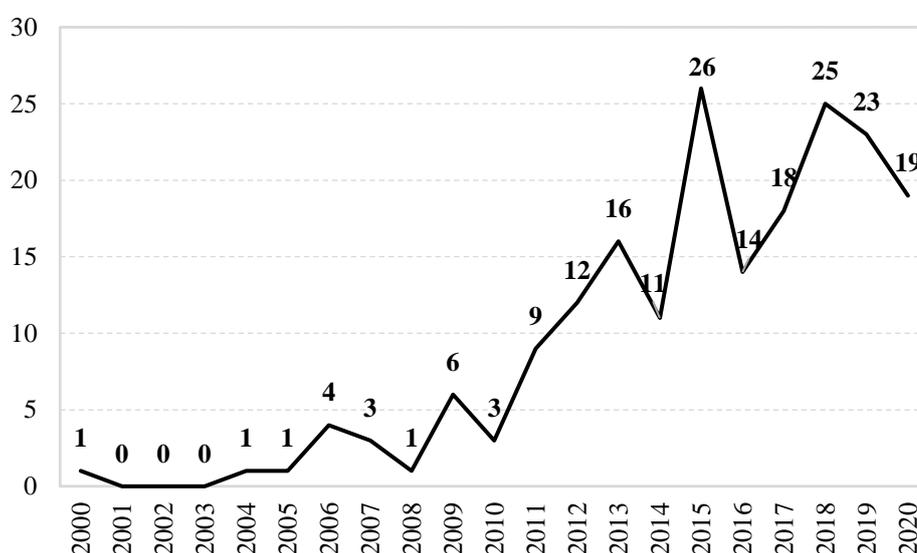


Figura 2 – Número de Publicações por Ano

Os principais periódicos com mais de 2 artigos estão listados na Tabela 1. Os periódicos com 1 ou 2 artigos representam 88% do total, considerando os 87 periódicos que constam na revisão da literatura, e são responsáveis por 60% dos 193 artigos analisados.

Tabela 1 – Principais Periódicos

Periódico	Nº de Artigos
Natural Hazards	21
Theoretical and Applied Climatology	6
International Journal of Disaster Risk Reduction	5

Water Resources Management	4
Water Policy	4
Journal of Hydrology	3
Science of the Total Environment	3
Disaster Advances	3
Water (Switzerland)	3
Jamba: Journal of Disaster Risk Studies	3

Segundo a tipologia da seca, 58% dos artigos foram considerados como "Não definido" porque abordam holisticamente a seca sem distinguir sua tipologia. Por outro lado, 42% dos artigos a definem e se concentram em um tipo específico; 76% abordam a seca agrícola enquanto apenas 20% lidam com meteorológicas e 4% estudam secas hidrológicas.

Em relação às componentes do risco, os artigos foram classificados da seguinte forma: ameaça, vulnerabilidade ou risco de forma completa. Apenas 2% dos artigos abordaram a componente ameaça, 21% abordaram a componente vulnerabilidade e 71% abordaram o risco de forma geral. Apenas 10 artigos não puderam ser classificados em relação à sua componente.

Do ponto de vista dos indicadores utilizados na componente ameaça, a chuva e a precipitação são os mais utilizados, seguidos pela temperatura média e evapotranspiração potencial. O artigo que usa mais variáveis foi feito na China e conta com 10 indicadores para criar um índice composto, são eles: precipitação, temperatura média, temperatura máxima, temperatura mínima, velocidade do vento, pressão atmosférica, pressão de vapor, duração do sol, evapotranspiração e evapotranspiração potencial (Wang e Meng, 2013).

Os indicadores utilizados na componente vulnerabilidade compõem uma lista com mais de 170 variáveis. A Tabela 2 apresenta os dois indicadores que aparecem com maior frequência na revisão da literatura, de acordo com a classificação de Tánago et al. (2016) em dimensões e sub dimensões. As sub dimensões seca e clima não foram consideradas por estarem relacionadas à componente ameaça e não à componente vulnerabilidade (UNISDR, 2009).

Tabela 2 - Dimensão, Sub Dimensão e Indicadores (revisão da literatura)

Dimensão	Sub Dimensão	Indicador (Frequência)	Definição	Referências
Biofísica	Solo	Cobertura vegetal (5)	Superfície coberta por algum tipo de vegetação natural (Ortega-Gaucin et al., 2018).	Huang et al. (2014a) Huang et al. (2014b) Pei et al. (2016) Núñez et al. (2017) Ortega-Gaucin et al. (2018)
		Inclinação do terreno (4)	A inclinação ou declive representam a topografia da região (Karamouz et al., 2015).	Huang et al. (2014a) Huang et al. (2014b) Karamouz et al. (2015) Hoque et al. (2020)
	Recursos Hídricos	Qualidade da água (2)	Mede a qualidade da água em termos da concentração média de Fe ++ (Núñez et al., 2017).	Núñez et al. (2017) Zarafshani et al. (2019)
		Armazenamento da água (2)	Mede a água armazenada como proporção do total de recursos hídricos renováveis (Naumann et al., (2014).	Naumann et al. (2014) Neri e Magaña (2016)
Socio econômica	Uso da Água	Eficiência do uso da água (5)	O volume total de água retirada (captada) para irrigação que é utilizada - indica a pressão sobre os recursos hídricos renováveis (Naumann et al., 2014).	Zarafshani et al. (2012) Naumann et al. (2014) Karavitis et al. (2014) Tánago et al. (2016) Núñez et al. (2017)
	Uso da Terra	Rendimento das plantações (4)	Razão entre colheita e área de plantio (Wang et al., 2020).	Wang e Meng (2013) Jayanthi et al. (2013) Wang et al. (2019) Wang et al. (2020)
		Área da terra (4)	Área da terra (em hectares) (Zarafshani et al., 2019).	Huang et al. (2014a) Karamouz et al. (2015)

			Tánago et al. (2016) Zarafshani et al. (2019)
Sociocultural	Densidade populacional (9)	Densidade populacional em km ² (Hoque et al., 2020).	Wu et al. (2013) Naumann et al. (2014) Nagarajan e Sreedhar (2015) Tánago et al. (2016) Pei et al. (2016) Wu et al. (2017) Cheng et al. (2018) Ortega-Gaucin et al. (2018) Hoque et al. (2020)
	Taxa de alfabetização de adultos (4)	Número de pessoas alfabetizadas por domicílio (Zarafshani et al., 2019).	Naumann et al. (2014) Nagarajan e Sreedhar (2015) Sam et al. (2016) Zarafshani et al. (2019)
Econômico Financeiro	Renda líquida rural per capta (5)	A renda total das famílias rurais, de várias fontes, menos todas as despesas (Wu et al., 2013).	Wu et al. (2013) Huang et al. (2014a) Huang et al. (2014b) Pei et al. (2016) Wu et al. (2017)
	PIB per capta (4)	O PIB per capita é calculado como PIB / total da população (Pei et al., 2016).	Cheng e Tao (2010) Wu et al. (2013) Naumann et al. (2014) Pei et al. (2016)
Institucional	Crédito (governamental) (2)	Acesso ao seguro agrícola e a renda agrícola dado pelo governo (Zarafshani et al., 2012).	Zarafshani et al. (2012) Tánago et al. (2016)
	Seguro agrícola (2)	Indenização recebida de agências de seguros (Zarafshani et al., 2019).	Zarafshani et al. (2012) Zarafshani et al. (2019)

Tecnologia Infraestrutura	Área irrigada (5)	Percentual da terra cultivada que tem irrigação (Naumann et al., 2014).	Naumann et al. (2014) Karamouz et al. (2015) Tánago et al. (2016) Guo et al. (2019) Hoque et al. (2020)
	Número de maquinário agrícola por unidade de área (4)	Número de máquinas agrícolas na fazenda por km ² (Zarafshani et al., 2019).	Huang et al. (2014b) Pei et al. (2016) Wu et al. (2017) Zarafshani et al. (2019)

A classificação dos artigos quanto a tipologia da seca, componente e indicadores, permite concluir que os indicadores da componente vulnerabilidade não variam de acordo com a tipologia da seca, ou seja, para todos os tipos de secas, os indicadores utilizados são os mesmos como, por exemplo, densidade populacional, PIB per capita, renda per capita rural, cobertura vegetal, expectativa de vida e entre outros. Por outro lado, em relação à componente ameaça, os indicadores variam de acordo com a tipologia da seca. Para as secas meteorológicas são utilizados indicadores de precipitação, umidade do solo, velocidade do vento, temperatura máxima; para as secas agrícolas são utilizados, além destes, indicadores de textura do solo, carbono orgânico, adubação; para as secas hidrológicas são utilizados majoritariamente indicadores sobre vazão dos rios.

Em relação ao cálculo do risco de secas, apenas 12% dos artigos apresentaram através de fórmulas matemáticas como o risco é calculado pelas suas componentes, conforme apresentado na Tabela 3. Alguns artigos consideram mais de uma formulação.

Tabela 3 - Formulação do Risco

Formulação do Risco	Nº de Artigos
Risco = Ameaça x Vulnerabilidade	17
Risco = Ameaça x Exposição x Vulnerabilidade	5
Risco = Ameaça + Vulnerabilidade	3
Risco = Ameaça x Dano	2
Risco = Ameaça x Severidade	1
Risco = Frequência x Intensidade	1
Risco = Frequência x Intensidade	1
Risco = Ameaça x Vulnerabilidade x Exposição x Sensibilidade	1
Risco = Ameaça x Vulnerabilidade x Exposição x Resistência	1
Risco = (Ameaça x Vulnerabilidade) / Capacidade Adaptativa	1
Risco = Ameaça x Susceptibilidade x Vulnerabilidade	1
Risco = (Ameaça x Sensitividade) x (1-Reconstrução Regional)	1

A estratégia mais utilizada, em 48% dos artigos, considera a multiplicação da componente ameaça com a componente vulnerabilidade, o que é sugerido pela UNISDR (2009) (Jia et al., 2012).

Em relação às técnicas utilizadas para modelar o risco de seca, a Tabela 4 apresenta os principais métodos utilizados e o respectivo número de artigos.

Tabela 4 – Técnicas de Modelagem para o Risco de Secas

Técnica de Modelagem	Nº de Artigos
AHP	11

Cópulas	10
Lógica <i>Fuzzy</i>	9
Entropia	7
Modelos de Regressão	6
Difusão de Informações	3
Rede Neural Artificial	3
Séries Temporais	3
Clusterização	2
<i>Machine Learning</i>	2
Simulação	2

O AHP foi o método mais utilizado, em onze artigos, porém nenhum desses artigos utilizou o Brasil como área de aplicação. Para calcular os pesos, os autores utilizaram técnicas como *k-means* (Huang et al., 2014a; Huang et al., 2014b), método de autovetor (Palchaudhuri e Biswas, 2016; Fang et al., 2011), lógica *fuzzy* (Cheng e Tao, 2010; Chou et al., 2019) e entropia (Wu et al. 2017). Existem apenas dois artigos que definem o peso dos indicadores de acordo com a opinião de especialistas (Karamouz et al., 2015; Hoque et al., 2020), no Irã e em Bangladesh, respectivamente. Karamouz et al. (2015) não abordam o perfil dos respondentes, enquanto Hoque et al. (2020) contam com 6 especialistas.

A Tabela 5 apresenta a lista de países com mais de um artigo.

Tabela 5 - Área de Aplicação dos Artigos

Área de Aplicação	Nº de Artigos
China	81
Índia	23
Irã	8
Thailândia	6
Estados Unidos	6
Indonésia	5
México	4
Malawi	3
Espanha	3
Vietnã	3
Bangladesh	2
Itália	2
Paquistão	2

A China lidera o ranking com 42% das publicações. Em segundo lugar, Índia, com 12% das publicações, seguida pelo Irã com 4% das publicações.

Os principais estudos do Brasil aparecem na literatura cinza, como o mapa de risco desenvolvido pelo CEMADEN, cujo foco é a agricultura familiar. Os estudos desenvolvidos pelo CEMADEN, além de abordarem os desafios para a consolidação de um sistema de alerta de risco de desastre associado às secas no Brasil (Cunha et al., 2019b), também compreendem o monitoramento dos impactos de secas (Alvalá et al., 2017), a vulnerabilidade das florestas amazônicas à secas repetidas (Anderson et al., 2018), a avaliação de eventos de seca analisando sua severidade, frequência e duração (Brito et al., 2018) e o desenvolvimento de um índice de umidade do solo que caracteriza as condições do solo em categorias de seca severa a muito úmida (Zeri et al., 2018), além de também abordarem as secas hidrológicas (Cunha et al., 2019b).

No Brasil, há duas iniciativas que medem a ameaça à seca: a primeira é o IIS, desenvolvido também pelo CEMADEN, e a segunda, o chamado Monitor de Secas do Nordeste, desenvolvido através de uma parceria entre Universidades e instituições federais e estaduais. O Monitor de Secas do Nordeste considera três indicadores - um para cada tipo de seca (meteorológica, agrícola e hidrológica) com base na precipitação e evapotranspiração potencial. O IIS tem foco na seca agrícola enquanto o Monitor de Secas do Nordeste tem como objetivo considerar três tipologias de seca, meteorológica, agrícola e hidrológica, concomitantemente.

Em relação ao índice de vulnerabilidade, há algumas iniciativas no Brasil: o índice de vulnerabilidade desenvolvido pelo INPE (INPE, 2015) e desenvolvido a partir de uma iniciativa entre o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Ministério da Integração Nacional e o WWF-Brasil (MMA, 2017). O índice do INPE não compreende toda a região do semiárido enquanto o índice criado pelo MMA (2017) é aplicado em todo o território brasileiro, o que é apresentado pelos autores como uma limitação do estudo. Em MMA (2017), os autores sugerem que sejam criados índices específicos para cada região do país.

A criação de um índice de risco composto aplicado na região do semiárido do Brasil preenche as lacunas levantadas na revisão da literatura. Este índice, que será desenvolvido no próximo capítulo, irá utilizar múltiplos indicadores, que aparecem com mais frequência na literatura, e irá trabalhar as componentes ameaça, como foco na seca meteorológica, e vulnerabilidade de forma complementar para se obter um índice de risco.

3. Índice de Risco

Este capítulo apresenta a metodologia e o processo de construção do índice de risco para a seca no semiárido do Brasil a partir dos índices compostos de ameaça e vulnerabilidade.

4.1 Metodologia

O desenvolvimento dos índices compostos de ameaça e vulnerabilidade seguiu a mesma metodologia para ponderação de múltiplos indicadores através do AHP pois este foi o método mais amplamente utilizado de acordo com a revisão da literatura.

O AHP é um método de tomada de decisão com vários critérios, criado por Saaty (1977), usado para definir escalas de proporção a partir de comparações emparelhadas, que refletem a força relativa de preferências e sentimentos (Saaty, 1987). Em sua forma geral, o AHP considera vários fatores simultaneamente e permite dependência e *feedback*, fazendo substituições numéricas para chegar a uma síntese ou conclusão. Para usar o AHP na modelagem, é necessária uma estrutura hierárquica ou de rede, para representar o problema, e comparações em pares para estabelecer as relações na estrutura (Saaty, 1987). No caso discreto, as comparações levam a matrizes de dominância e, no caso contínuo, a núcleos de operadores de Fredholm, a partir dos quais as escalas de proporção são derivadas na forma de autovalores e autovetores (Saaty, 1987). Existem dois tipos de comparações, absoluta e relativa: nas comparações absolutas, as alternativas são comparadas com um padrão pré-estabelecido que foi desenvolvido através da experiência; nas comparações relativas, as alternativas são comparadas em pares de acordo com um atributo comum. O AHP tem sido usado com os dois tipos de comparação para derivar escalas de medida de razão (Saaty, 1987).

Existem outros métodos de decisão multicritério, como *Simple Additive Weighting* (SAW), *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) e *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE), mas o AHP ajuda a resolver problemas complexos com mais facilidade com a estrutura de uma hierarquia, traçando considerações para o desenvolvimento de pesos ou prioridades

(Widianta et al., 2017). A estrutura de um modelo AHP é semelhante a uma árvore invertida, porque existe uma única finalidade no topo da árvore, que representa a finalidade do problema de prioridades de tomada de decisão, de modo que 100% do peso da decisão está neste ponto, e logo abaixo da meta há um ponto de folha indicando os critérios, prioridades qualitativas e quantitativas (Widianta et al., 2017).

Para implementar o AHP, foram desenvolvidos dois questionários com comparações em pares dos indicadores de ameaça e vulnerabilidade. Nos questionários, os respondentes (especialistas em pesquisa com secas) arrastavam o controle deslizante (*slider*) em direção ao indicador mais relevante. As comparações em pares foram realizadas usando o método descrito por Saaty na escala fundamental apresentada na Tabela 6 (Leal, 2020).

Tabela 6 – Escala AHP

Intensidade de Importância	Definição
1	Importância Igual
3	Importância Moderada
5	Importância Forte
7	Importância Muito Forte
9	Importância Extrema

Foram utilizadas as intensidades 2, 4, 6 e 8 para escalas intermediárias, aumentando a sensibilidade das respostas. O resultado do questionário funcionou como a entrada de uma calculadora AHP (BPMSG, 2021) que calculou não apenas a matriz de decisão, mas também seu autovalor e a razão de consistência das respostas.

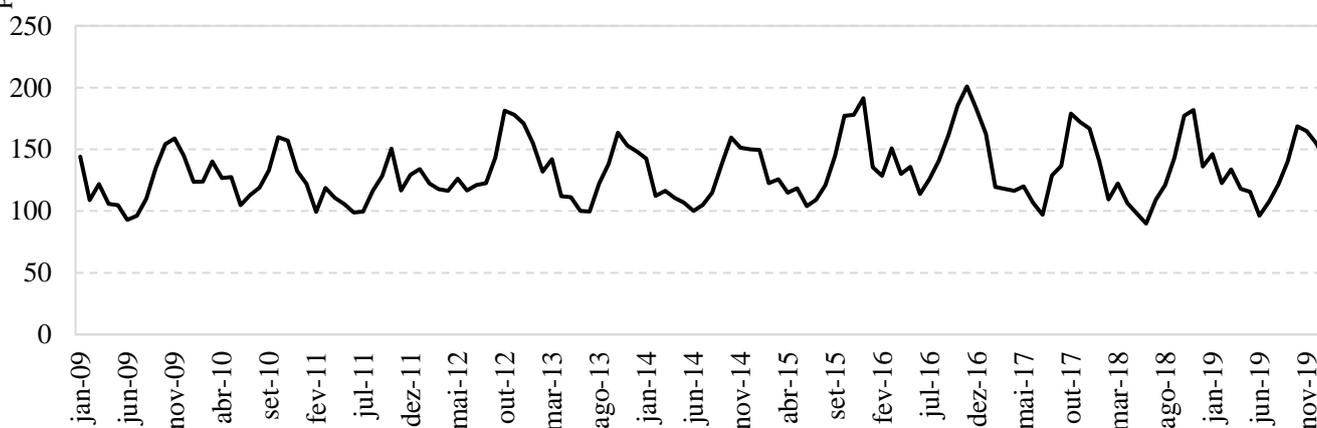
A Razão de Consistência das respostas é denotada por $RC = IC/IR$, onde IR é o Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n, com elementos não-negativos e gerada randomicamente. O Índice de Consistência (IC) é dado por $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n-1)$, onde $\lambda_{\text{máx}}$ é o maior autovalor da matriz de respostas. Segundo Saaty (2000), a condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,10$ pois o ser humano tem a habilidade de estabelecer relações entre objetos ou ideias de forma que elas sejam coerentes, e tal que estas se relacionem bem entre si e suas relações apresentem consistência.

O método AHP para os questionários de ameaça e vulnerabilidade apresentou razão de consistência de 0,084 e 0,076, respectivamente, o que garante a consistência dos resultados. Em seguida, foram obtidos os pesos de cada indicador.

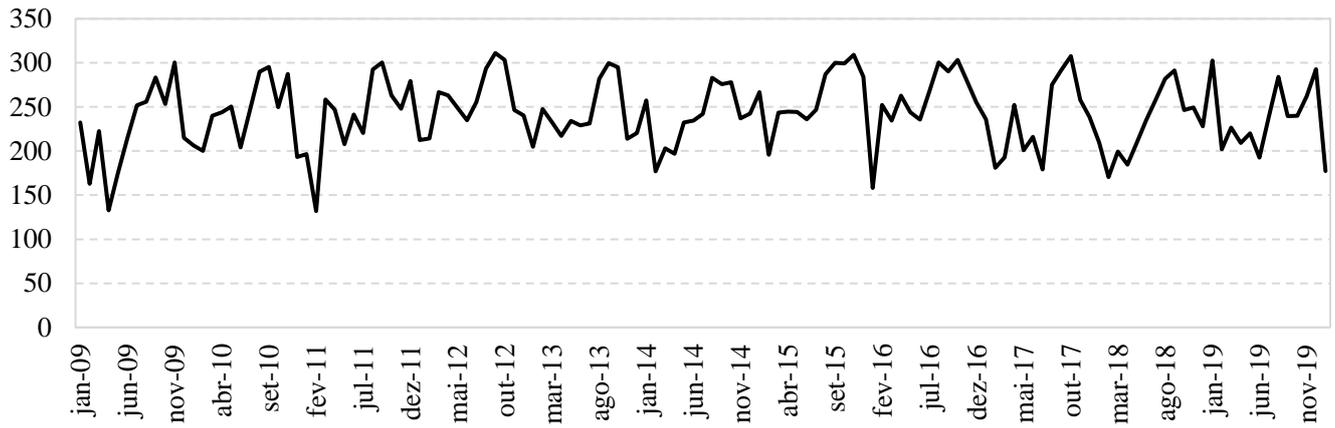
4.2 Ameaça

Conforme apresentado no Capítulo 1, a ameaça considera a frequência e a intensidade da seca. Um índice eficaz de intensidade deve basear-se em vários indicadores (Murthy et al., 2017) e, com o objetivo de captar ameaça de secas meteorológicas, foi utilizado o banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para coletar os indicadores meteorológicos disponíveis, mais utilizados de acordo com a revisão da literatura, são eles: precipitação, evapotranspiração, temperatura (média, máxima e mínima), umidade relativa, insolação total e velocidade do vento (dados disponibilizados pela autora em <https://bit.ly/2jVSpqd>). Esses indicadores também foram utilizados por Wilhite (2000b), Jia et al. (2012), Wu et al. (2015) e são os.

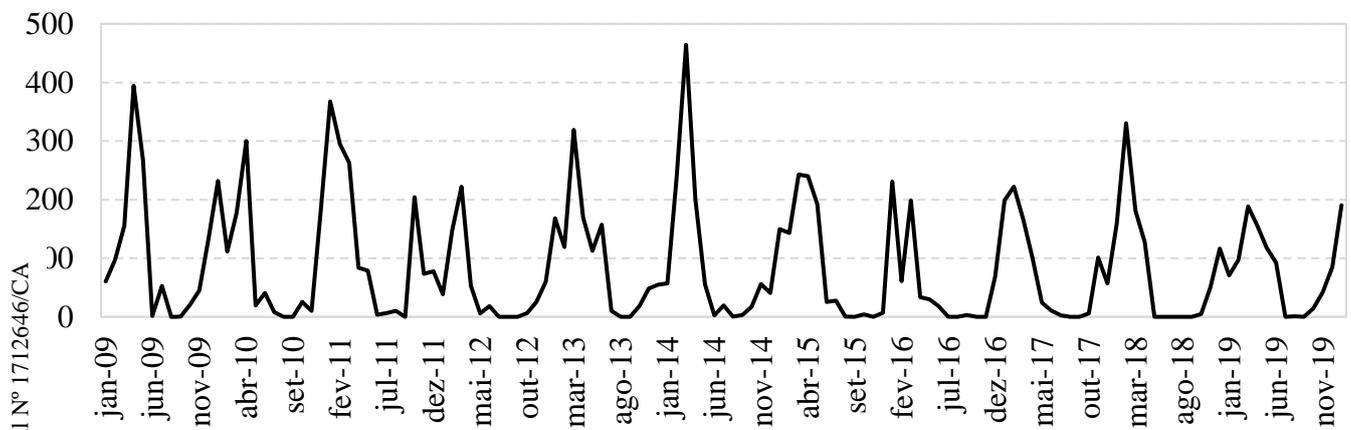
Os dados desses indicadores foram coletados entre janeiro de 2009 e janeiro de 2020, o que corresponde a uma série temporal de 133 meses. Vale ressaltar que é uma limitação deste estudo o processo de coleta de dados, que é feito de forma manual. Devido à esta restrição, só foram considerados 12 anos de dados e não 30 anos, como é sugerido pelo MMA, o Ministério da Integração Nacional e o WWF-Brasil (MMA, 2017). Os dados meteorológicos estão disponíveis em formato digital nas várias estações meteorológicas convencionais da rede de estações do INMET com as informações de acordo com os padrões técnicos internacionais da OMM. Os dados de cada indicador da estação de Barbalha (Ceará) são apresentados na Figura 3 como exemplo, essa estação foi escolhida de forma aleatória. O objetivo de analisar os dados da estação é verificar a consistência das informações fornecidas pelo INMET e a quantidade de dados ausentes.



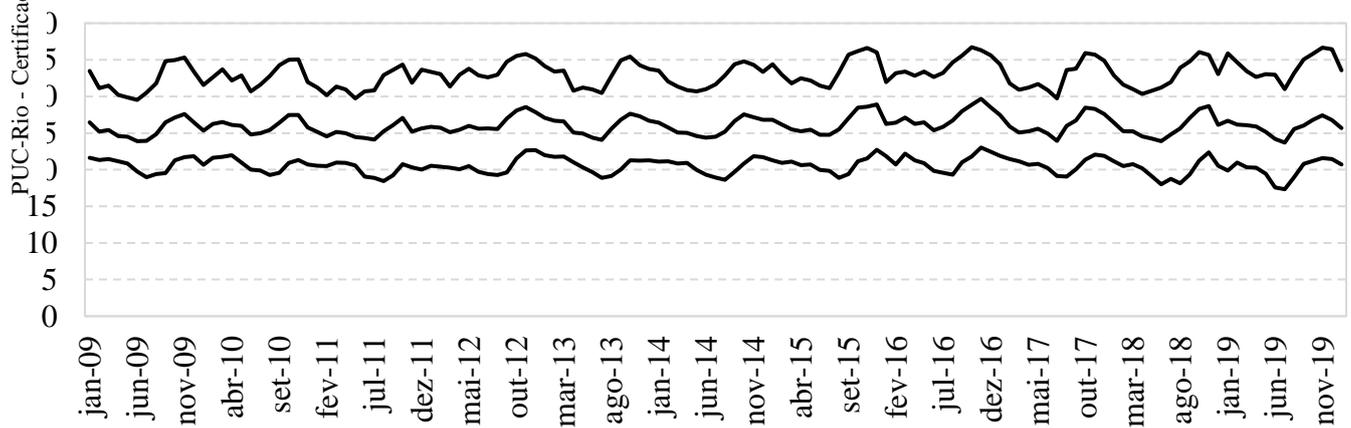
(a) Evapotranspiração Potencial (mm)



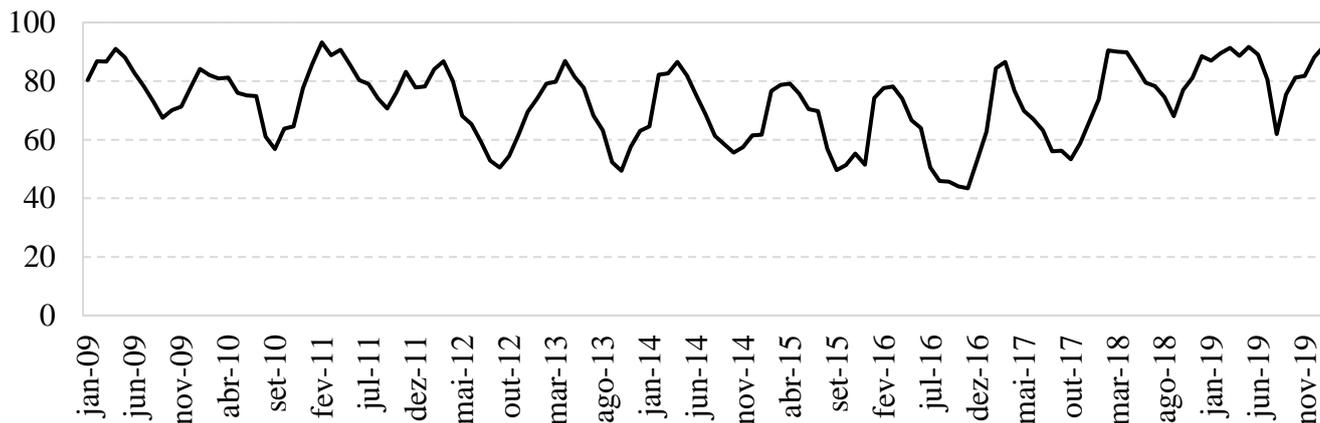
(b) Insolação Total (horas)



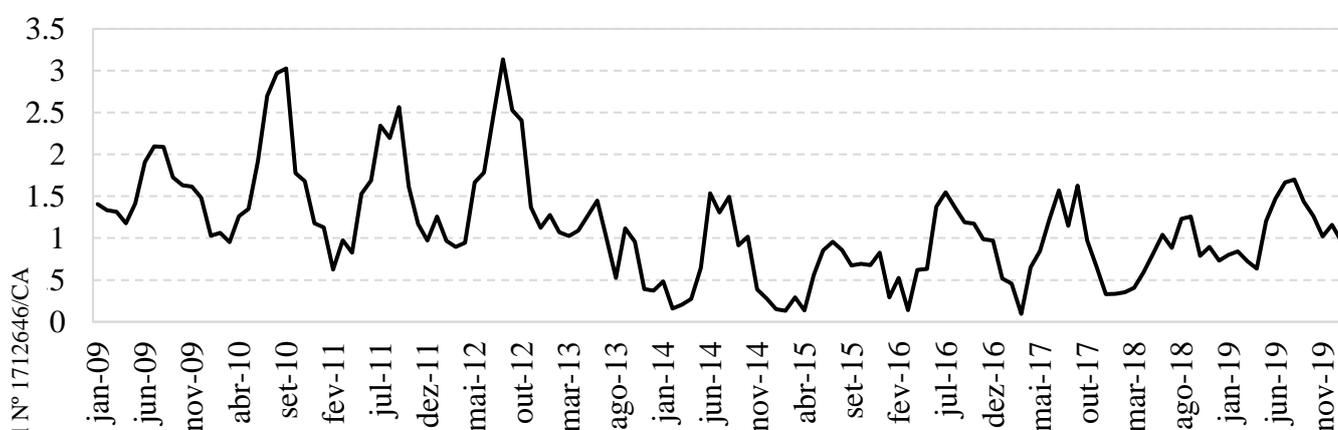
(c) Precipitação Total (mm)



(d) Temperaturas: Mínima Média, Compensada Média e Máxima Média (°C)



(e) Umidade Relativa Média (%)



(f) Velocidade do Vento Média (mps)

Figura 3 - Dados do INMET para a Estação de Barbalha (Ceará)

De acordo com a Figura 3, os dados seguem comportamento sazonal, principalmente para os indicadores de precipitação, temperatura, evapotranspiração potencial e umidade relativa média. Na estação de Barbalha, por exemplo, apenas 1,3% dos dados não estavam disponíveis. A estação da Araçuaí (MG) é a que possui maior falta de dados (12,6%), pois não disponibiliza dados para o indicador de Insolação Total.

Existem 265 estações meteorológicas convencionais distribuídas em todo o Brasil, mas, neste estudo, foram consideradas as 59 estações que estão operantes e situadas nos estados que compõem a região do semiárido. Esta região é composta por 1.262 municípios dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (SUDENE, 2019). A Figura 4 ilustra os 1.262

municípios do semiárido brasileiro, em laranja, e as 59 estações do INMET consideradas neste estudo, em esferas azuis.

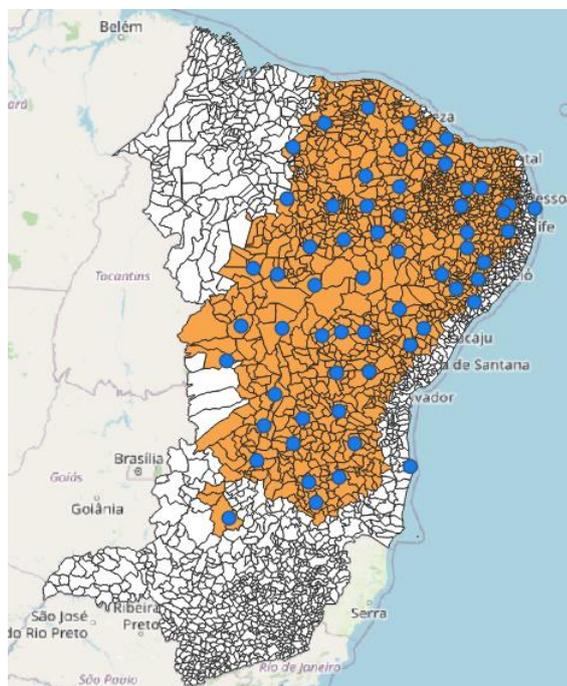


Figura 4 - Municípios do Semiárido e Estações do INMET

Os dados foram coletados para 133 meses, 8 indicadores e 59 estações meteorológicas. Conforme apresentado anteriormente, existem alguns meses sem registros para determinados indicadores de uma determinada estação. Para tratar estas lacunas nas séries temporais, foi realizada uma etapa de processamento de dados através de técnicas de interpolação, considerando o valor do mês seguinte e do mês anterior. Para a falta de dados no início ou no fim da série histórica, onde a interpolação não pode ser aplicada, foi considerada a média mensal dessa estação. Para as estações meteorológicas sem registros para um determinado indicador, o que ocorreu em apenas 2 das 59 estações, foi considerado o valor da estação mais próxima.

Como os indicadores têm escalas diferentes, os dados foram normalizados entre 0 e 1. A normalização se deu através da divisão do indicador de cada estação, em cada mês, pelo valor máximo da série histórica deste indicador em toda a região estudada. Desta forma, o índice de ameaça leva em consideração os valores mais extremos já registrados para esta região. Finalmente, para atribuir o peso a cada indicador, o método AHP foi utilizado.

A formulação do índice de ameaça de secas (IA), apresentado na Equação 1, considera cada indicador normalizado com seu peso. Utilizou-se o complemento dos indicadores de precipitação total e umidade relativa média, devido à sua relação inversamente proporcional com a seca.

$$IA_{ij} = W_P * \left(1 - \frac{P_{ij}}{\max(P)}\right) + W_{ET} * \frac{ET_{ij}}{\max(ET)} + W_{TM} * \frac{TM_{ij}}{\max(TM)} + W_{UR} * \left(1 - \frac{UR_{ij}}{\max(UR)}\right) + W_{VV} * \frac{VV_{ij}}{\max(VV)} + W_{IT} * \frac{IT_{ij}}{\max(IT)} + W_{TMin} * \frac{TMin_{ij}}{\max(TMin)} + W_{TMax} * \frac{TMax_{ij}}{\max(TMax)} \quad (1)$$

Em que:

IA_{ij} é o índice de ameaça na estação i no mês j ,

P_{ij} é a precipitação (em milímetros) na estação i no mês j ,

$\max(P)$ é o valor máximo de precipitação considerando todas as estações e todos os meses,

ET_{ij} é a evapotranspiração potencial (em milímetros) na estação i no mês j ,

$\max(ET)$ é o valor máximo da evapotranspiração potencial considerando todas as estações e todos os meses,

TM_{ij} é a temperatura compensada média (em °C) na estação i no mês j ,

$\max(TM)$ é o valor máximo da temperatura compensada média considerando todas as estações e todos os meses,

UR_{ij} é a umidade relativa média do ar (em %) na estação i no mês j ,

$\max(UR)$ é o valor máximo da umidade relativa média do ar considerando todas as estações e todos os meses,

VV_{ij} é a velocidade do vento média (em metros por segundo) na estação i no mês j ,

$\max(VV)$ é o valor máximo da velocidade do vento média considerando todas as estações e todos os meses,

IT_{ij} é a insolação total (em horas) na estação i no mês j ,

$\max(IT)$ é o valor máximo da insolação total considerando todas as estações e todos os meses,

$TMin_{ij}$ é a temperatura mínima média (em °C) na estação i no mês j ,

$\max(TMin)$ é o valor máximo da temperatura mínima média considerando todas as estações e todos os meses,

$TMax_{ij}$ é a temperatura máxima média (em °C) na estação i no mês j ,

$\max(TMax)$ é o valor máximo da temperatura máxima média considerando todas as estações e todos os meses,

$W_P, W_{ET}, W_{TM}, W_{UR}, W_{VV}, W_{IT}, W_{TMin}$ and W_{TMax} são os pesos de cada indicador.

O índice de ameaça foi classificado através de seis categorias, conforme o IIS e o Monitor de Secas do Nordeste, e são elas: nenhuma, muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta. Esta classificação possibilita a comparação dos resultados entre os três

indicadores. Os valores do índice de ameaça se concentram historicamente entre 0,40 e 0,80. Portanto, foram criados intervalos equidistantes entre estes valores para cada categoria. A primeira e a última categoria estão assimétricas, pois englobam os valores limites de 0 e 1. A Tabela 7 apresenta a categoria dos índices de ameaça.

Tabela 7 - Categoria do Índice de Ameaça

Índice de Ameaça (IA)	Categoria
0,00 <= IA < 0,40	Nenhuma
0,40 <= IA < 0,50	Muito Baixa
0,50 <= IA < 0,60	Baixa
0,60 <= IA < 0,70	Moderada
0,70 <= IA < 0,80	Alta
0,80 <= IA <= 1,00	Muito Alta

A partir do cálculo do índice de ameaça de secas para cada estação meteorológica, é necessário transformar essas informações das 59 estações para os 1.262 municípios. Para isso, foi feita uma triangulação dos dados de forma a garantir que cada município tenha seu índice calculado a partir da ponderação das três estações mais próximas, sendo o peso inversamente proporcional à distância das estações, ou seja, a estação mais próxima tem o peso maior. Desta forma, obteve-se o índice de intensidade da ameaça de seca para cada município do semiárido.

A atualização deste índice é mensal e pode ter até 3 meses de atraso, pois depende dos dados divulgados pelo INMET que, embora sejam fornecidos mensalmente, podem ter atrasos de até 90 dias na sua divulgação.

Em relação à componente frequência, Brito et al. (2018) definem que a frequência é a proporção do número de secas que ocorre durante o período analisado. A frequência das secas é destacada visualmente, através de uma linha cinza no polígono do município, no mapa de ameaça do DRAI, que será apresentado no Capítulo 7. O critério para considerar um município com seca frequente leva em consideração se quantidade de meses que o município tem categoria igual ou superior a “alta” é maior ou igual a seis meses consecutivos. Este critério foi adotado, conforme o IIS, para possibilitar a comparação dos resultados obtidos nos dois índices.

4.2 Vulnerabilidade

A vulnerabilidade é caracterizada pela exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, conforme apresentado no Capítulo 1. Para criar o índice composto de vulnerabilidade, é preciso definir quais indicadores serão utilizados para representar essas características. Conforme apresentado no Capítulo 3, a metodologia proposta por Tánago et al. (2016) foi utilizada para classificar os indicadores que apareceram nos artigos (que abordavam a componente vulnerabilidade) da revisão da literatura, em dimensões e sub dimensões. A Tabela 2 (página 24) apresenta as dimensões, sub dimensões e os indicadores que aparecem com mais frequência na literatura com suas respectivas definições e referências.

Os dados de vulnerabilidade foram coletados entre 2009 e 2019, mantendo o período do índice de ameaça. Os dados para 2020 ainda não foram disponibilizados.

A cobertura da vegetação florestal é calculada a partir da área da vegetação florestal de cada estado e a área total de cada estado, ambas obtidas através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). A metodologia utilizada pelo IBGE resulta da interpretação de imagens de satélite, além de informações complementares e levantamentos de campo em todo o país. O IBGE disponibiliza estas informações a cada 2 anos desde 2010. Portanto, foi necessário fazer uma interpolação desses dados para obter os valores para os anos de 2011, 2013, 2015 e 2017. Para os anos de 2009, 2019 e 2020 foi feita uma projeção a partir dos valores de históricos. A variação média entre um ano e outro para os municípios é de 0,8% de redução na cobertura da vegetação florestal.

Na sub dimensão recursos hídricos, houve empate de 6 tipos de indicadores na primeira posição, todos eles abordam aspectos sobre a qualidade da água, armazenamento da água, densidade dos rios, infraestrutura dos reservatórios e taxa de recursos hídricos subterrâneos. A partir da disponibilidade dos dados, para representar essa sub dimensão, foi definido o índice de tratamento e coleta de esgoto, que reflete o percentual da população que tem acesso à água tratada, de qualidade. Esta informação é disponibilizada anualmente pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020), que obtém as informações através das instituições responsáveis pela prestação dos serviços de água e esgoto, como companhias estaduais, autarquias ou empresas municipais, departamentos municipais e empresas privadas. Como o envio dos dados por parte dos prestadores de serviços de água e esgoto e dos municípios é voluntário, existe falta de informações em alguns anos e para alguns municípios. Em média, cada município possui

falta de dados para 30% dos anos analisados. Para tratar esta falta de dados em alguns anos, entre 2009 e 2018, foi feita a interpolação dos dados da série histórica e, caso não houvesse registro para o primeiro ou último ano, feita uma projeção dos valores com base no crescimento médio anual de cada município, o mesmo foi feito para as projeções de 2019 e 2020. Vale ressaltar que o crescimento deste indicador é de 0,67% ao ano, em média, para cada município. Dos 1.262 municípios do semiárido, 1.217 possuem dados no SNIS e, para os outros 45 municípios, esta informação foi retirada do Atlas Esgotos (ANA, 2013) e considerada constante ao longo dos anos.

O termo “eficiência de uso da água” é empregado como sinônimo de eficiência de irrigação (ANA, 2017), exprimindo a relação entre o volume de água necessário para as plantas e o volume de água captado no corpo hídrico. A diferença pode ser considerada como perda, ou seja, a parcela de água retirada do corpo hídrico que não é aproveitada pelas plantas. As perdas podem ocorrer por vazamentos na distribuição e no armazenamento, evaporação, escoamento superficial e percolação profunda (ANA, 2017). Os dados sobre a demanda total da agricultura irrigada (em m³/segundo), que são calculados através do volume de água retirada do meio ambiente e do volume consumido, para cada município, foram disponibilizados pela ANA (2017) para o ano de 2015 e a projeção para o ano de 2030. A partir destas duas informações, foi possível estimar o crescimento médio anual esperado para cada município e, então, calcular o indicador para os anos de 2009 a 2014 e 2016 a 2020.

A sub dimensão rendimento das plantações foi representada pela razão entre a área plantada (em hectares) e a área colhida (em hectares), ambas as informações foram fornecidas pelo IBGE (2017a), e refletem a eficiência da agricultura. As informações divulgadas pelo IBGE são referentes à agricultura, de forma geral, tanto para lavouras temporárias quanto para lavouras permanentes (os dados dos 72 tipos de culturas considerados estão disponíveis em <https://bit.ly/3hZ57g0>). As áreas plantadas e colhidas não levam em consideração a distinção entre pequenos e grandes produtores. Entre 2009 e 2018 alguns municípios apresentaram falta de dados, o que foi tratado de duas formas: a falta de dados ao longo da série foi tratada via interpolação dos anos mais próximos, enquanto a falta de dados no início ou fim da série histórica foi tratada considerando a variação média anual deste indicador para cada município. Para 2019 e 2020 também foi considerada uma projeção com base nesta variação média anual. Para os municípios sem dados foi considerada a média do estado.

A densidade populacional é calculada através da população e da área de cada município. Estas informações foram disponibilizadas pelo IBGE (2019, 2010), em habitantes e km². Os dados populacionais do IBGE para os anos de 2011 até 2020 são baseados em projeções feitas pelo próprio IBGE, pois o CENSO de 2020 ainda não foi divulgado. A utilização de dados de 2010 é uma limitação deste estudo. Para normalizar este indicador e torná-lo um número entre 0 e 1, foi feita a divisão da densidade populacional de cada município pela maior densidade populacional da série.

A sub dimensão econômico/financeiro tinha como primeiro indicador a renda líquida da população rural per capita. Porém, devido à indisponibilidade deste dado, o segundo indicador mais frequente na literatura para esta sub dimensão, o Produto Interno Bruto (PIB) per capita, foi utilizado. Este indicador é calculado a partir do PIB dos municípios e das suas respectivas populações. Ambas as informações foram fornecidas pelo IBGE (2017b, 2019). Os dados de PIB vão até 2017 e, para os anos de 2018, 2019 e 2020, foi feita uma projeção com base no crescimento médio anual de cada município. Já a estimativa da população não possuía dados para 2011 e 2020. Em 2011, foi feita uma interpolação dos dados de 2010 e 2012 e para 2020 foi feita uma projeção com base no crescimento médio anual de cada município. A normalização deste indicador foi feita dividindo o PIB per capita de cada município pelo maior PIB per capita da série.

Para a sub dimensão institucional, optou-se por trabalhar com o auxílio governamental do Garantia Safra, uma política pública voltada aos agricultores familiares na região semiárida brasileira. O Garantia Safra consiste em um benefício condicionado voltado a atender agricultores familiares de baixa renda, que tenham perdas iguais ou superiores a 50% nas produções de algodão, arroz, feijão, mandioca, milho ou outras atividades agrícolas de convivência com o semiárido, proveniente de seca ou excesso de chuvas (DEGER, 2019). Há no programa um conjunto de processos e procedimentos que são organizados em três macroprocessos: implementação da safra, verificação de perdas e pagamento de beneficiários. A operacionalização do Garantia Safra segue rotinas, que de forma geral, baseiam-se em cinco etapas: reunião do comitê gestor, adesão dos estados e municípios, inscrições, homologações e adesões dos agricultores, análise da perda de safra e pagamento do benefício aos agricultores familiares (DEGER, 2019). O Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA, 2019) disponibilizou um resumo com o número de agricultores beneficiados pelo Garantia Safra para as safras de 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018 por município, porém, com a extinção deste órgão, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020) é que passou a disponibilizar os

dados para as safras seguintes, como a safra de 2018/2019. Para as safras anteriores, não existe um resumo feito pelo MDA e nem pelo MAPA, então os dados brutos foram coletados mensalmente a partir do Portal da Transparência (2019) e foram tratados. Este tratamento foi necessário pois a informação disponibilizada pelo Portal da Transparência é referente aos pagamentos (mensais) feitos para agricultores beneficiados pelo programa, e este número pode sofrer variações entre um mês e outro de acordo com a quantidade de cotas recebidas por cada agricultor. Após o tratamento, foi obtido o número de agricultores beneficiados para as safras de 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015. Para as safras de 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 foi feita uma estimativa a partir do crescimento médio anual do número de agricultores beneficiados, divulgado pelo Departamento de Gestão de Riscos (DEGER, 2019). A referência às safras sempre considera dois anos, pois o ano agrícola vai de julho a junho (CGU, 2014). Para este trabalho, considera-se a safra de 2009/2010 como o ano de 2010 e assim por diante. Após o término do ano agrícola, ainda é necessária uma etapa de auditoria das perdas para, então, o benefício ser liberado. O prazo médio entre a verificação da perda e a autorização do pagamento é de, em média, 97 dias (CGU, 2014), o que faz com que o benefício muitas vezes seja liberado só no ano seguinte. Para considerar a parcela da população de cada município que recebe este auxílio, utiliza-se a estimativa de população feita pelo IBGE (2019) e este indicador, portanto, reflete o nível de dependência que a população tem dos programas sociais.

Na sub dimensão tecnologia e infraestrutura, o indicador mais utilizado foi a área irrigada. Porém, devido à indisponibilidade deste dado, optou-se por trabalhar com o segundo indicador mais frequente na literatura para esta sub dimensão, que é o número de máquinas agrícolas por unidade de área. Este indicador é calculado a partir do número de máquinas e da área de cada município, ambas as informações foram disponibilizadas pelo IBGE (2017c, 2010). O número de máquinas agrícolas é divulgado através do Censo Agropecuário que foi publicado em 2006 e em 2017. Através destas informações, pode-se estimar o nível médio de variação anual para cada município e, através da interpolação dos dados, definir o indicador para os anos de 2007 a 2016 e fazer projeções para os anos de 2017 a 2020. Para normalizá-lo, dividiu-se o número de máquinas por unidade de área, de cada município, pelo maior número de máquinas por unidade de área da série. Em caso de municípios com falta de dados, foi considerada a média do estado. Este indicador reflete o nível de preparo técnico dos agricultores em relação à sua produção agrícola.

Para atribuir o peso de cada indicador, também foi aplicado o AHP, assim como no índice de ameaça. Um questionário com a comparação em pares de todos os oito indicadores foi criado e enviado à profissionais que trabalham com secas. As respostas dos especialistas foram inseridas em uma calculadora AHP para que as suas prioridades (hierarquia) fossem atribuídas a esses indicadores. Na pesquisa, os entrevistados também foram questionados sobre a classificação de cada indicador de acordo com os componentes: exposição (E), sensibilidade (S) ou capacidade adaptativa (CA).

Uma nova etapa de normalização foi feita para garantir que cada um desses componentes (exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa) variasse de 0 a 1, respeitando o peso de cada indicador. Por fim, com outra normalização, o indicador de vulnerabilidade também varia de 0 a 1.

De acordo com Tánago et al. (2016), a formulação de vulnerabilidade (já normalizada) mais utilizada na literatura é a apresentada na Equação 2:

$$V = \frac{(E + S - CA + 1)}{3} \quad (2)$$

Em que

V representa a Vulnerabilidade,

E representa a Exposição,

S representa a Sensibilidade e

CA representa a Capacidade Adaptativa.

O índice de vulnerabilidade de secas (IV) também foi classificado em seis categorias, como no caso do índice de ameaça: nenhuma, muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta. Os valores do índice de vulnerabilidade se concentram historicamente entre 0,20 e 0,40. Portanto, foram criados intervalos equidistantes entre estes valores para cada categoria. A primeira e a última categoria estão assimétricas, pois englobam os valores limites de 0 e 1. A Tabela 8 apresenta a categoria dos índices de ameaça.

Tabela 8 - Categoria do Índice de Vulnerabilidade

Índice de Vulnerabilidade (IV)	Categoria
0,00 <= IV < 0,20	Nenhuma

0,20 <= IV < 0,25	Muito Baixa
0,25 <= IV < 0,30	Baixa
0,30 <= IV < 0,35	Moderada
0,35 <= IV < 0,40	Alta
0,40 <= IV <= 1,00	Muito Alta

Sobre a atualização deste índice, os dados divulgados geralmente são anuais ou até decenais e podem ter atrasos de meses, o que significa que este índice pode ser atualizado anualmente. Vale ressaltar que as características de vulnerabilidade não costumam mudar radicalmente entre um ano e outro, geralmente são necessários anos para mudar o perfil de vulnerabilidade de um município.

4.3 Risco

Após o cálculo do índice de ameaças e do índice de vulnerabilidade, o índice de risco pode ser obtido multiplicando estas duas componentes. Esta formulação, apresentada pela Equação 3, de acordo com Tánago et al. (2016), é a mais utilizada na literatura.

$$R = A \times V \quad (3)$$

Em que

R representa o Risco,

A representa a Ameaça e

V representa a Vulnerabilidade.

O índice de risco de secas (IR) também foi classificado em seis categorias, como no caso do índice de ameaça e do índice de vulnerabilidade: nenhum, muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. Os valores do índice de risco se concentram historicamente entre 0,15 e 0,35. Portanto, foram criados intervalos equidistantes entre estes valores para cada categoria. A primeira e a última categoria estão assimétricas, pois englobam os valores limites de 0 e 1. A Tabela 9 apresenta a categoria dos índices de ameaça.

Tabela 9 - Categoria do Índice de Risco

Índice de Risco (IR)	Categoria
0,00 <= IR < 0,15	Nenhum

$0,15 \leq IR < 0,20$	Muito Baixo
$0,20 \leq IR < 0,25$	Baixo
$0,25 \leq IR < 0,30$	Moderado
$0,30 \leq IR < 0,35$	Alto
$0,35 \leq IR \leq 1,00$	Muito Alto

Sobre a atualização deste índice, sugere-se que seja feita mensalmente uma vez que uma de suas componentes (ameaça) é atualizada com esta periodicidade.

4. Validação do Índice de Risco

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados obtidos a partir do desenvolvimento dos índices compostos de ameaça, vulnerabilidade e risco, assim como validar a metodologia proposta a partir de comparações com outros índices já desenvolvidos.

4.1 Resultados

4.1.1 Índice de Ameaça

O peso de cada indicador, calculado através do AHP, com base nas respostas dos especialistas, é apresentado na primeira coluna da Tabela 10. Como a seca tem causas e efeitos diferentes em cada país, os resultados do AHP podem apresentar algum viés, uma vez que seus dados vêm de especialistas de diferentes países do mundo. Portanto, a Tabela 10 distingue os pesos calculados apenas pelos entrevistados brasileiros, que representam 21% da amostra, e pelos entrevistados de outros países (Espanha, EUA, Índia, Itália, África do Sul, Coréia do Sul e China), que representam 79% da amostra, além do peso total. Como é possível observar, os cinco primeiros dos oito indicadores mantem o mesmo lugar nos três rankings. A única mudança de posição ocorre nos três últimos indicadores do ranking, que juntos representam apenas 9,3% do peso do índice de ameaça.

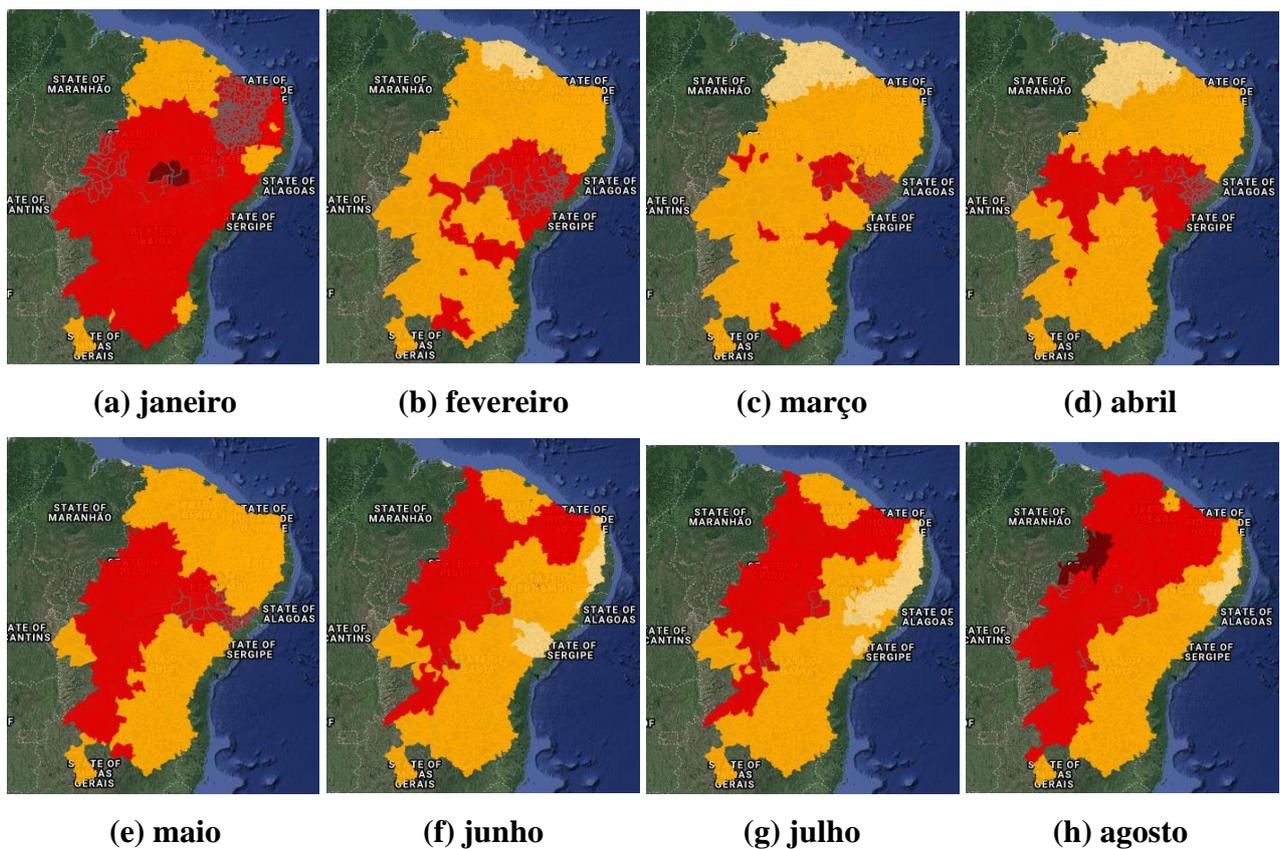
Tabela 10 – Peso dos Indicadores de Ameaça

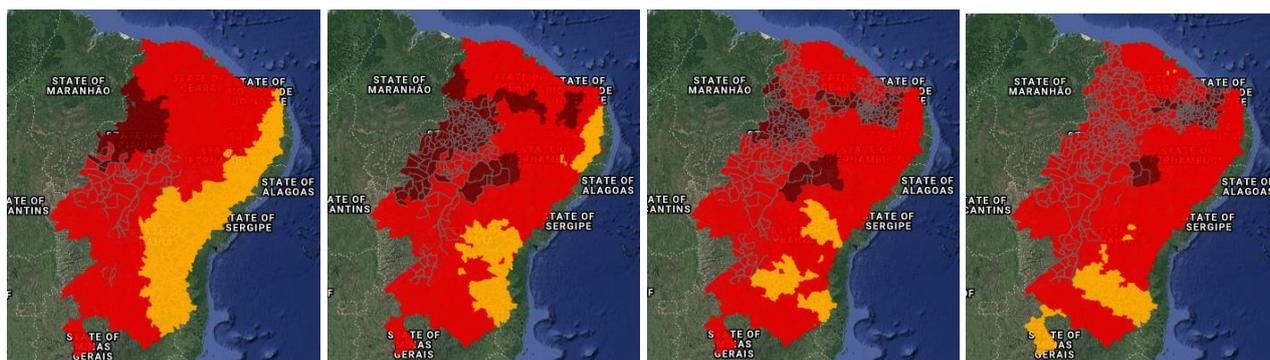
Indicador	Peso Total	Peso Brasil	Peso Outros Países
Precipitação	0,364	0,387	0,357
Evapotranspiração Potencial	0,264	0,256	0,266
Temperatura Máxima Média	0,115	0,127	0,111
Temperatura Compensada Média	0,086	0,074	0,089
Umidade Relativa do Ar	0,078	0,064	0,082
Insolação Total	0,034	0,022	0,038
Temperatura Mínima Média	0,031	0,051	0,026
Velocidade do Vento Média	0,028	0,019	0,031

O uso do AHP, com base na opinião de especialistas, como uma técnica para ponderar os indicadores do índice composto de secas, já havia sido apresentado por Karamouz et al. (2015) com os seguintes indicadores: precipitação, temperatura, uso da terra, nível da água subterrânea, radiação solar e ângulo de inclinação. Os resultados também mostraram precipitação como o primeiro indicador (peso 0,25), seguido de temperatura (peso 0,15), o que corrobora a hierarquia utilizada em no modelo proposto nesta tese. Em seu estudo, Karamouz et al. (2015) não especificam informações sobre o perfil dos respondentes.

Hoque et al. (2020) também utilizaram AHP com base na opinião de especialistas para seca meteorológica e os indicadores foram: precipitação, temperatura, evapotranspiração e umidade. É importante observar que estes indicadores seguiram a mesma ordem de prioridade neste estudo e em Hoque et al. (2020), que tem sua amostra composta por 6 especialistas.

A Figura 5 apresenta o mapa de ameaças para o ano de 2019.





(i) setembro

(j) outubro

(k) novembro

(l) dezembro

Legenda para Ameaça		
Intervalo	Cor	Descrição
0.00 - 0.40		Sem ameaça
0.40 - 0.50		Muito baixo
0.50 - 0.60		Baixo
0.60 - 0.70		Moderado
0.70 - 0.80		Alto
0.80 - 1.00		Muito alto
Frequência		Acima de alto por 6 meses

Figura 5 - Mapa de Ameaça 2019

Historicamente, o comportamento do índice de ameaça segue um padrão sazonal, onde há um aumento do índice entre os meses de abril/maio e outubro. Em abril de 2019, os municípios com índice alto começam a aumentar no mapa e em agosto já começam a aparecer municípios com índice muito alto, o que se estende até outubro. Os municípios que apresentaram as maiores médias este ano foram: Canavieira (PI), Petrolina (PE), Juazeiro (BA), Sento Sé (BA) e Sobradinho (BA).

4.1.2 Índice de Vulnerabilidade

Depois de aplicar a metodologia proposta, os pesos de cada indicador foram calculados (Tabela 11). As colunas Peso Brasil e Peso Outros Países fazem a distinção dos resultados de acordo com o país de origem do especialista. Os entrevistados brasileiros representam 25% da amostra, enquanto os entrevistados de outros países representam 75% da amostra. Em todos os casos a eficiência do uso da água é o indicador com maior peso.

Tabela 11 – Peso dos Indicadores de Vulnerabilidade

Indicador	Peso Total	Peso Brasil	Peso Outros Países
Eficiência do uso da água	0,346	0,399	0,348
Razão entre área plantada e área colhida	0,169	0,139	0,190
Cobertura vegetação florestal	0,098	0,036	0,068
Acesso ao Garantia Safra	0,090	0,058	0,094
Densidade populacional	0,089	0,168	0,095
Índice de tratamento e coleta de esgoto	0,077	0,057	0,048
Nº de maquinário agrícola por unidade de área	0,069	0,086	0,103
PIB per capta	0,062	0,057	0,054

Ainda que exista uma diferença no *ranking* dos indicadores apresentados na Tabela 11, vale a pena ressaltar que estes pesos ainda serão normalizados de acordo com a classificação dos indicadores.

A Tabela 12 mostra a classificação dos indicadores de acordo com os critérios de exposição (E), sensibilidade (S) e capacidade adaptativa (CA). As colunas Brasil e Outros Países fazem a distinção dos resultados de acordo com o país de origem do especialista.

Tabela 12 – Classificação dos Indicadores de Vulnerabilidade

Indicador	Total	Brasil	Outros Países
Eficiência do uso da água	S	CA	S
Razão entre área plantada e área colhida	S*	CA	S
Cobertura vegetação florestal	S	S	S
Acesso ao Garantia Safra	CA*	S	CA
Densidade populacional	E	S	E
Índice de tratamento e coleta de esgoto	CA	CA	CA
Nº de maquinário agrícola por unidade de área	CA	CA	CA
PIB per capta	CA	CA	CA

*empate

Os indicadores de Razão entre área plantada e área colhida e o Acesso ao Garantia Safra apresentaram empate na classificação total. O critério de desempate utilizado neste caso foi feito de acordo com a revisão da literatura, ou seja, foram considerados todos os artigos da revisão da literatura que abordavam a componente vulnerabilidade e utilizavam este indicador e foi analisado como ele era majoritariamente classificado. No caso da Razão entre área plantada e área colhida, a classificação pela revisão da literatura estava de acordo com a classificação dos outros países, ou seja, como Sensibilidade. O mesmo

ocorreu para o Acesso ao Garantia Safra, ou seja, o desempate pela revisão da literatura indicou a mesma classificação dos outros países, como Capacidade Adaptativa.

Para avaliar a diferença dos pesos e das classificações, exemplifica-se uma análise de sensibilidade para o município de Água Branca (Alagoas). A Tabela 13 apresenta os resultados do IV para o caso Total (onde foram utilizados os pesos e as classificações totais da pesquisa), o caso Brasil (onde foram utilizados os pesos e as classificações dos respondentes brasileiros) e o caso Outros Países (onde foram utilizados os pesos e as classificações dos respondentes de outros países).

Tabela 13 – Análise de Sensibilidade dos Pesos e Classificações

IV Total	IV Brasil	IV Outros Países
0,303	0,152	0,225

É possível notar que existe uma diferença entre as análises de até 15% no valor final do índice. Isso significa que se os brasileiros fossem criar seu próprio índice de vulnerabilidade, sem levar em consideração o conhecimento adquirido pelos especialistas de outros países, e vice-versa, ambos chegariam a um índice de vulnerabilidade 7,3% diferente.

Se a classificação dos indicadores for fixada quanto aos critérios de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa de acordo com a classificação total dos respondentes e apenas os pesos dos indicadores variarem, seriam obtidos os resultados apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Análise de Sensibilidade dos Pesos

IV Total	IV Brasil	IV Outros Países
0,303	0,300	0,284

Neste caso, a diferença entre os índices é menor do que 2% no valor final. Feitas estas análises, o índice de vulnerabilidade foi desenvolvido considerando os pesos e classificações totais obtidos na pesquisa de forma geral.

Na Figura 6 é possível ver o mapa de vulnerabilidade para 2019.

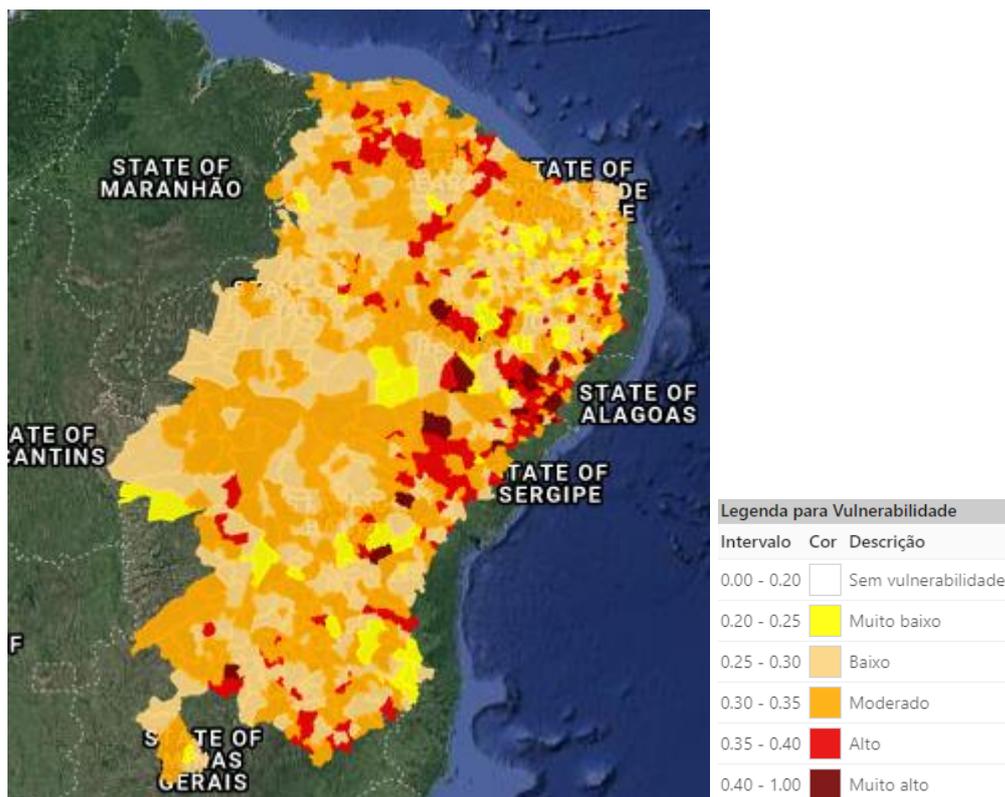


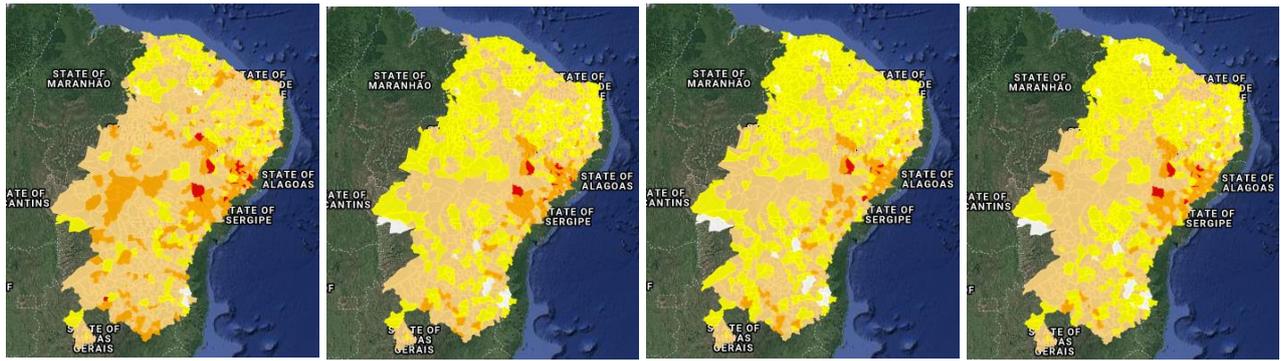
Figura 6 - Mapa de Vulnerabilidade (2019)

Como os dados de vulnerabilidade são atualizados anualmente, os mapas de janeiro a dezembro são sempre iguais. Para 2020, o mapa só poderá ser gerado depois que as informações sobre os beneficiados pelo programa garantia safra forem divulgadas.

Em 2019, os municípios mais vulneráveis são: Olho D'Água do Casado (AL), Palestina (AL), São José da Tapera (AL), Toritama (PE) e Poço Verde (SE). Esses municípios não apresentam tratamento e coleta de esgoto, tem o PIB per capita de menos de R\$ 7,00, tem até 13% da população dependente do benefício garantia safra e eficiência do uso da água na irrigação de 60% em média.

4.1.3 Índice de Risco

Após calculados e plotados os índices de ameaça e vulnerabilidade, é possível plotar o mapa de risco de secas para 2019. Veja na Figura 7.

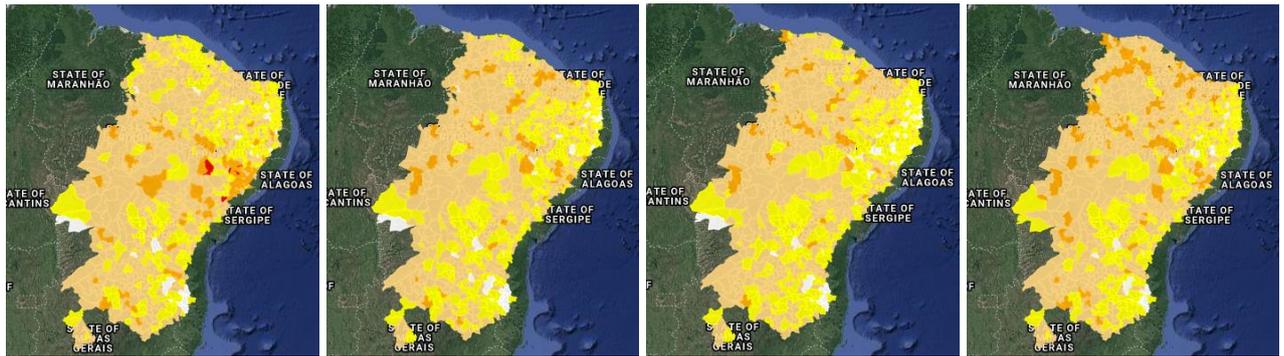


(a) janeiro

(b) fevereiro

(c) março

(d) abril

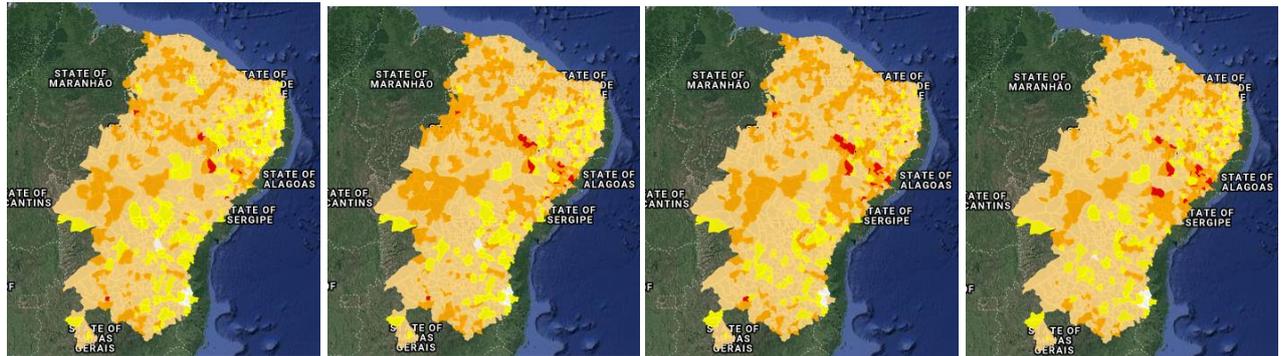


(e) maio

(f) junho

(g) julho

(h) agosto



(i) setembro

(j) outubro

(k) novembro

(l) dezembro

Legenda para Risco		
Intervalo	Cor	Descrição
0.00 - 0.15		Sem risco
0.15 - 0.20		Muito baixo
0.20 - 0.25		Baixo
0.25 - 0.30		Moderado
0.30 - 0.35		Alto
0.35 - 1.00		Muito alto

Figura 7 - Mapa de Risco 2019

O índice de risco, assim como o de ameaça, também apresenta um padrão sazonal já que a vulnerabilidade é praticamente constante ao longo do ano. Historicamente, a partir de abril o índice de risco começa a apresentar tendência de aumento. Em 2019, é possível perceber que a partir de maio muitos municípios saem do risco baixo para o risco moderado e a partir de agosto começam a apresentar uma tendência de aumento. Os municípios que apresentaram as piores médias para o índice de risco em 2019 foram: Assunção (PB), Mirandiba (PE), Salgueiro (PE), Serrita (PE) e Toritama (PE).

4.2 Discussões

4.2.1 Validação do Índice de Ameaça

Em 2019, o índice de ameaça apresenta uma tendência de queda a partir de janeiro e volta a crescer em julho, seguindo um padrão sazonal. Duas regiões foram as mais ameaçadas: a região entre Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe que, além de apresentar índices altos ou muito altos de ameaça, também apresentou frequência para este tipo de evento, e a região do Piauí que chegou a índices muito altos entre agosto e novembro.

A metodologia proposta para este índice foi validada através da comparação dos resultados obtidos na seção anterior com o IIS e o Monitor de Secas do Nordeste. A Figura 8 apresenta o índice de ameaça para o semiárido brasileiro, o IIS e o Monitor de Secas do Nordeste, respectivamente.

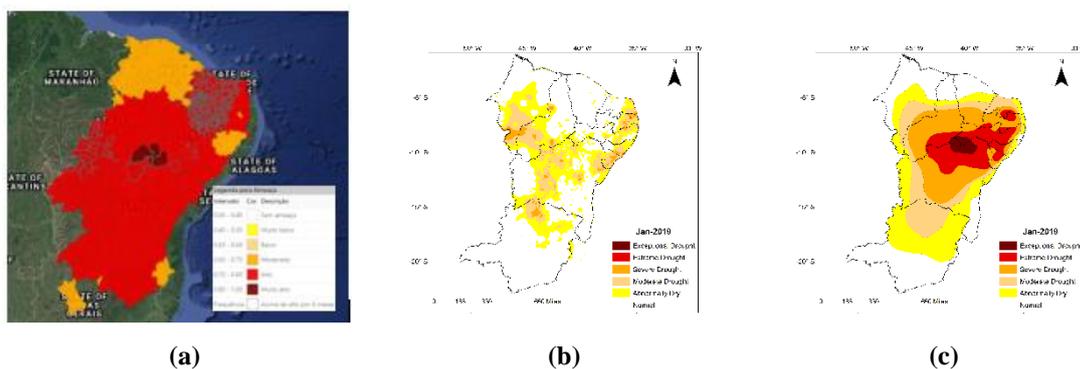


Figura 8 - Validação do Índice de Ameaça para janeiro de 2019 (a) Índice de Ameaça (b) IIS (c) Monitor de Secas do Nordeste

Fonte: Bravo et al. (2019b)

O relatório mensal do IIS de janeiro indica que houve uma expansão das condições de seca moderada e grave, de acordo com o último mês (dezembro de 2018),

principalmente na região Nordeste, onde foram os estados da Bahia e Pernambuco que apresentaram a expansão mais significativa da condição de seca (CEMADEN, 2019).

Ainda no relatório do IIS, os municípios com maior intensidade de ameaça, em janeiro, se situam na Paraíba, representam 0,2% dos municípios e apresentaram classificação de seca severa, são eles: Pilões, Pilõezinhos e Pirpirituba. No índice de ameaça desenvolvido neste estudo, estes municípios apresentam um grau a mais de intensidade, ou seja, foram classificados como seca extrema. O segundo grupo de maior ameaça no IIS é composto por 118 municípios com a classificação de seca moderada, 10% foram classificados como seca severa e 90% como seca extrema, neste estudo, ou seja, 1 ou 2 graus de diferença na classificação da ameaça.

Essa diferença nos graus de intensidade entre os mapas se dá não só pelo fato dos índices considerarem variáveis diferentes e seguirem metodologias diferentes, mas também por serem aplicados em regiões diferentes. O IIS é calculado para todo o território nacional enquanto o índice desenvolvido neste estudo e o Monitor de Secas do Nordeste são aplicados apenas em uma região do país. Devido a esta diferença na área de aplicação, o referencial de cada índice varia, ou seja, o nível de ameaça pode ser extremo em um município do semiárido para o Monitor de Secas do Nordeste e moderado para o IIS, pois o IIS também considera em sua metodologia a região do Pantanal, por exemplo, que também sofre de secas intensas.

Dessa forma, é possível observar que não só o IIS e o índice de ameaça desenvolvido neste estudo, mas também o Monitor de Secas do Nordeste, apresentam maior intensidade na região entre o norte do estado da Bahia e a fronteira com o estado de Pernambuco.

O relatório Monitor de Secas do Nordeste reforça esse cenário. Na Bahia, a precipitação excedeu 100 mm no oeste do estado quando o esperado era mais de 300 mm. Na maior parte do estado, os valores foram inferiores a 20 mm e, portanto, não foi suficiente uma melhora na severidade da seca, como evidenciado pelo *Vegetation Health Index* (VHI), que indicou um agravamento da seca.

Os índices considerados pelo Monitor de Secas do Nordeste são o SPI (para 3, 4, 6, 12, 18 e 24 meses), que é baseado no indicador de precipitação, o SPEI, que é baseado em indicadores de precipitação e evapotranspiração potencial (SPEI, 2019) e o *Standardize Runoff Index* (SRI), que também considera o indicador de precipitação (Martins et al., 2015). Precipitação e evapotranspiração potencial são os indicadores com os maiores pesos no índice de ameaças desenvolvido neste estudo. Isso explica por que o

nível de gravidade desse índice e do índice de ameaça desenvolvido neste estudo são semelhantes.

O Monitor de Secas do Nordeste foi desenvolvido por um grande grupo de especialistas e instituições brasileiras (entidades federais e estaduais, universidades), com o apoio financeiro do Banco Mundial e parcerias internacionais como a Comissão Nacional de Água do México (Conagua), o Centro Nacional de Mitigação da Seca, nos Estados Unidos, bem como instituições governamentais e acadêmicas na Espanha. Em sua fase mais recente, o Monitor tem a ANA como instituição central do processo, sendo responsável pela coordenação no nível federal e articulação com os estados da região, bem como sua expansão para outros estados. A participação de várias partes interessadas torna o Monitor de Secas do Nordeste uma ferramenta muito rica e robusta.

No entanto, o processo final de validação do mapa é realizado por meio da participação da sociedade civil, que nem sempre possui o conhecimento necessário para avaliar a seca, mesmo vivendo o cotidiano da região. Além disso, sua saída principal - o mapa - é desenhada manualmente. Esse conjunto de recursos dificulta que o monitor de seca do nordeste se torne uma ferramenta escalável e automatizada. Essas limitações também foram apresentadas por De Nys et al. (2016).

Por outro lado, o IIS não possui etapas manuais, o que o torna escalável e automatizado, e possui uma resolução maior, o que permite um nível alto de monitoramento para cada município da região semiárida. Os índices usados na criação do IIS são o SPI, baseado no indicador de precipitação, o *Vegetation Supply Water Index* (VSWI) (Zhou et al., 2013a, 2013b; Cunha et al., 2015; Alvalá et al., 2017), que combina a temperatura da superfície da terra e o NDVI (Cunha et al., 2015), e a umidade do solo (CEMADEN, 2019).

O uso de variáveis físicas (precipitação, temperatura, condição da vegetação, umidade do solo etc.) para desenvolver indicadores para a avaliação da ameaça de seca foi confirmado pelos especialistas que, no questionário, mencionaram que os mais utilizados são SPI, SPEI, PDSI, *Aridity Index* (AI), VHI e VSWI. A partir do uso de múltiplos indicadores, é possível identificar convergências de evidências de condições de seca, o que é essencial para uma melhor confiabilidade na tomada de decisões (Cunha et al., 2019a). Além disso, os especialistas também mencionaram outras maneiras de avaliar o risco de secas, como a aplicação de tecnologias geoespaciais, modelagem estatística, análise de sensibilidade e métodos *run()* - método baseado na teoria estatística de

execuções (*runs*) para analisar uma série temporal sequencial (Nam et al., 2015) - para identificar duração e gravidade.

Outro ponto essencial a ser discutido é a fonte dos dados. O IIS e o Monitor de Secas do Nordeste são construídos com base em dados fornecidos por diferentes instituições meteorológicas, que podem gerar um ruído entre esses índices. Esse tipo de divergência pode ser avaliado através de uma análise de sensibilidade para entender as diferenças entre os bancos de dados.

4.2.2 Validação do Índice de Vulnerabilidade

Os municípios com o maior índice de vulnerabilidade em 2019 são Olho D'Água do Casado (AL), Palestina (AL), São José da Tapera (AL), Toritama (PE) e Poço Verde (SE).

O estado de Pernambuco (PE) tem 52% dos municípios afetados pela seca e, de acordo com o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (Letras Ambientais, 2019), 53 municípios da Pernambuco foram reconhecidos em Situação de Emergência em 2019 devido à seca. No entanto, apenas 24,8% dos municípios possuem plano de contingência ou ameaça de desastre natural (Letras Ambientais, 2019).

Em Alagoas (AL), dos 102 municípios, 34 estão afetados por seca grave ou moderada. Segundo o IBGE, de 2013 a 2016, Alagoas foi o sexto estado do Nordeste a registrar a maior proporção de municípios afetados pela seca (77,5%), e apenas 22,5% das cidades têm contingência ou plano de prevenção da seca (Letras Ambientais, 2019).

Existem algumas iniciativas no Brasil que medem o nível de vulnerabilidade (IPEA, 2015; Medeiros e Souza, 2016), porém existem poucas iniciativas que foquem em vulnerabilidade à seca. Para a validação do índice de vulnerabilidade desenvolvido neste estudo, são feitas comparações com dois índices desenvolvidos no Brasil, específicos para secas: o índice de vulnerabilidade desenvolvido pelo INPE (INPE, 2015) e o índice de vulnerabilidade feito a partir de uma iniciativa entre o MMA, o Ministério da Integração Nacional e o WWF-Brasil (MMA, 2017). A Figura 9 apresenta o mapa desenvolvido neste estudo e o mapa do INPE, respectivamente.

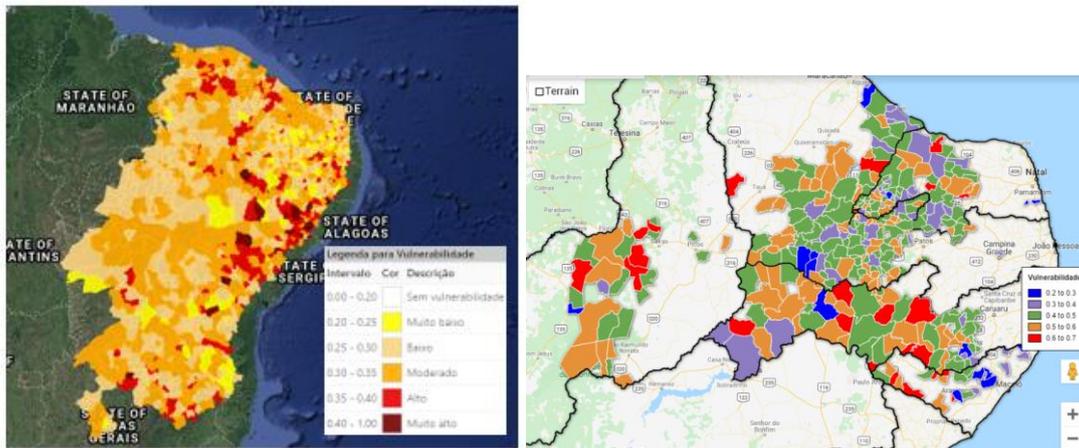


Figura 9 - Validação do Índice de Vulnerabilidade 2015 (a) Índice de Vulnerabilidade (b) Índice de Vulnerabilidade do INPE

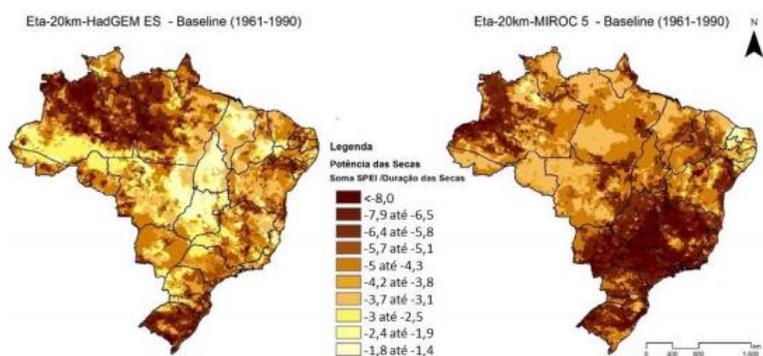
Em relação ao índice criado pelo INPE, ainda que ele considere a mesma fórmula de vulnerabilidade, baseada em exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, os indicadores considerados são diferentes. O mapa do INPE considera para exposição indicadores de chuvas acumuladas e média de chuvas, que são indicadores da componente ameaça (UNISDR, 2009). A componente sensibilidade considera dados da população rural, população ocupada na agropecuária, pobreza, domicílios rurais sem acesso à água, domicílios rurais sem saneamento adequado, redução da produção agrícola entre 2011 e 2013 e redução da produção pecuária entre 2011 e 2012. Já a componente capacidade adaptativa considera a diversificação do sistema produtivo, domicílios particulares permanentes rurais com existência de televisão e pessoas de 10 anos ou mais de idade, por alfabetização, segundo a situação do domicílio. No cálculo da vulnerabilidade, todas essas variáveis possuem o mesmo peso.

Também vale ressaltar que o mapa do INPE não compreende toda a região do semiárido, apenas alguns municípios do nordeste, pois seu objetivo era mapear a vulnerabilidade da população rural em alguns municípios da Paraíba, Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte. Os municípios considerados os mais vulneráveis pelo IV em 2015 são Olho D'Água do Casado (AL), Juazeirinho (PB) e Riacho de Santana (RN). Juazeirinho e Riacho de Santana não constam no mapa do INPE, porém Olho D'Água do Casado consta e possui o mesmo índice (muito alto) do IV. Considerando apenas os municípios em comum nos dois estudos, são 333 cidades para as quais a diferença média entre o

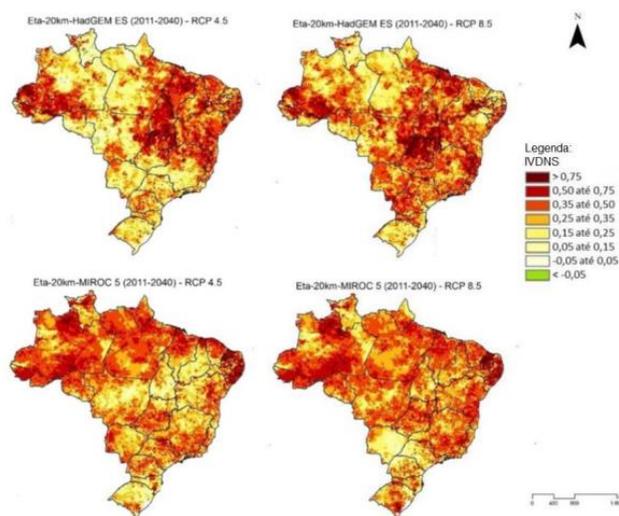
índice de vulnerabilidade proposto neste trabalho e o do INPE, ambos valores entre 0 e 1, é de 15%.

O índice de vulnerabilidade criado pelo MMA (2017), chamado de Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais relacionados às Secas (IVDNS), também utiliza o conceito de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. Para exposição são considerados os indicadores: incremento da média da precipitação anual, incremento do desvio padrão, incremento da potência das secas (a partir do SPEI). Vale ressaltar que, assim como o mapa do INPE, são utilizadas variáveis de ameaça, como precipitação, para medir a vulnerabilidade (UNISDR, 2009). Para sensibilidade são considerados os indicadores: uso do solo, percentual da população com renda menor que ¼ do salário-mínimo, mortalidade infantil, densidade demográfica e índice de demanda e oferta de água. Por fim, para capacidade adaptativa são considerados os indicadores: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHm), desigualdade social (índice GINI) e analfabetismo.

O IVDNS não calcula exatamente a vulnerabilidade a partir de uma fórmula, ele utiliza como período de base uma série temporal de 30 anos de dados meteorológicos (precipitação e temperatura) referentes aos anos 1961-1990 (*baseline*), conforme instrução da OMM. Em seguida, são feitas projeções a partir de dois modelos climáticos, sendo eles: o Eta-Hadgem ES 2 e o ETA-MIROC 5, que representam o aninhamento do modelo regional Eta, desenvolvido pelo INPE, com os respectivos modelos globais. A Figura 10 apresenta o *baseline* e as projeções do IVDNS para 2040.



(a)



(b)

Figura 10 – IVDNS (a) Baseline (b) Projeções

Fonte: MMA (2017)

Ainda que os mapas do IVDNS tenham sido transformados em valores tabelados, para cada município, validar o índice de vulnerabilidade desenvolvido neste estudo a partir desses valores se torna um processo pouco assertivo por dois motivos: o primeiro se deve ao fato do IVDNS gerar 4 índices de vulnerabilidade para cada município (com base no RCP 4.5 e RCP 8.5 para os modelos utilizados Eta-Hadgem ES 2 e ETA-MIROC 5), o que já torna a validação abrangente. Além disso, o IVDNS não gera projeções anuais, e sim para um período de 2011 a 2040.

No relatório apresentado pelo MMA, os autores explicam que a diferença entre as projeções obtidas pelos modelos são uma limitação do estudo e, portanto, os resultados devem ser analisados com cautela. Além disso, os autores mencionam que a grande extensão territorial brasileira dificulta a obtenção de resultados que sejam igualmente representativos para todas as regiões do país. Portanto, para que o índice seja representativo em escalas de maior detalhe, é recomendado que sejam feitas análises específicas para cada região.

O MMA defende que o clima semiárido é mais propício para situações de baixa disponibilidade de recursos hídricos ainda que o efeito da mudança do clima seja muitas vezes apontado como o principal fator determinante da vulnerabilidade aos desastres de secas. No entanto, existe um arranjo socioeconômico e de gestão do uso da água e do solo que intensifica a vulnerabilidade dos municípios de região do semiárido.

O uso de dados sociais (como indicadores políticos, econômicos, de infraestrutura e sociais) para criar um índice composto, o uso de sistemas de informação geográfica, a aplicação do AHP e as pesquisas (feitas através de entrevistas e coleta de dados) foram mencionados pelos especialistas que responderam ao questionário aplicado nesta pesquisa como métodos para avaliar a vulnerabilidade à seca.

4.2.3 Validação do Índice de Risco

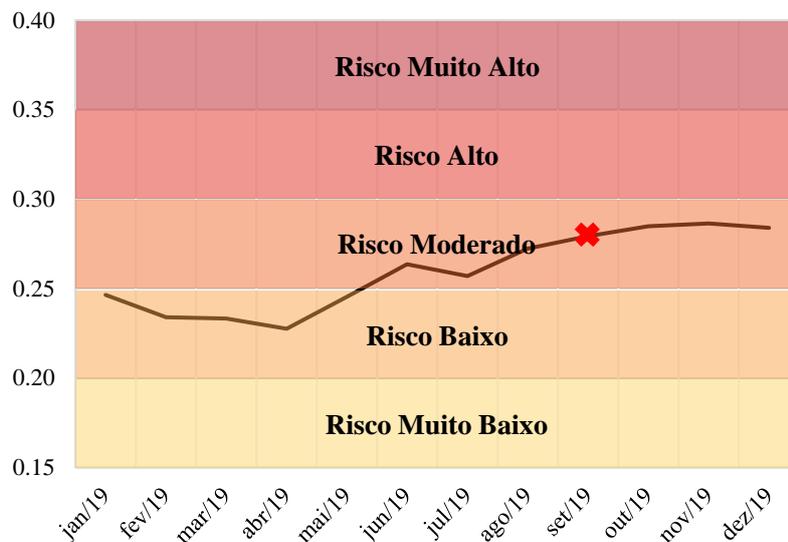
Para a validação o índice de risco, foram feitas duas análises: a primeira com base nos dados do S2iD (S2iD, 2020) e a segunda com base no mapa de risco desenvolvido pelo CEMADEN.

O S2iD é um sistema que integra alguns relatórios da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), com o intuito de qualificar e dar transparência à gestão de riscos e desastres no Brasil, por meio da informatização de processos e disponibilização de informações sistematizadas. Através do S2iD, foram coletados os relatórios de perdas e danos devido às secas, no Brasil para entender em quais momentos foram registradas mais ocorrências, ou ocorrências mais graves, para os municípios do semiárido. Em seguida, aplicou-se um filtro para selecionar apenas as ocorrências reconhecidas pelo Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), ou seja, apenas as ocorrências já validadas, para municípios do semiárido.

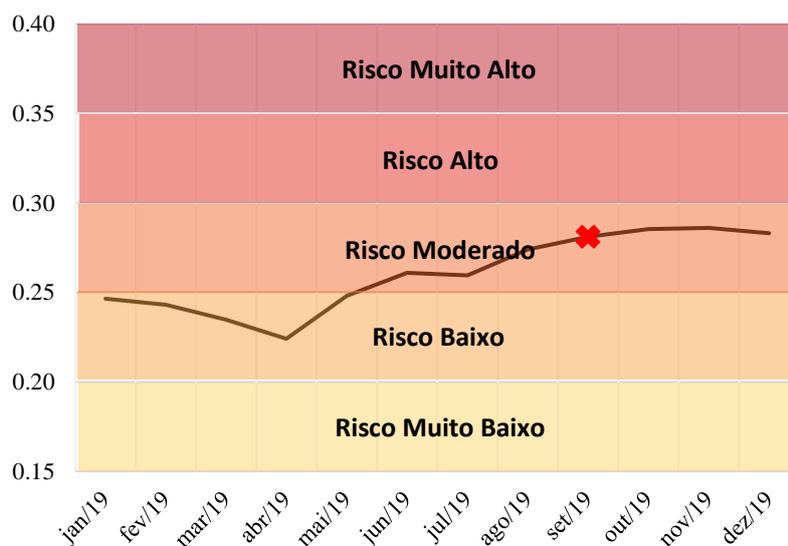
É importante ressaltar que existem alguns processos burocráticos para a abertura e validação dos registros de ocorrência de desastres no S2iD e cabe aos municípios conhecerem estes processos. Nem todos os municípios possuem uma defesa civil estruturada e detém o conhecimento necessário para fazer a abertura dos registros enquanto outros municípios já estão mais estruturados e familiarizados com estas etapas. Devido a essas diferenças de conhecimento e estrutura das defesas civis, os registros de ocorrências nem sempre refletem a real situação dos desastres, ou seja, é possível que determinados municípios não consigam realizar suas ocorrências por falta de conhecimento sobre esses processos burocráticos.

No caso do município de Milhã, no Ceará, o risco de seca apresentou tendência de crescimento a partir de abril de 2019 passando, logo em seguida, do nível de risco baixo para moderado, como pode ser visto na Figura 11a. Em setembro de 2019, houve o registro de uma ocorrência no S2iD para este município (o “X” em vermelho na Figura 11), onde foi relatado que mais de 13.078 foram pessoas afetadas, os prejuízos

econômicos públicos (referente ao abastecimento de água potável) foram de mais de R\$ 1.307.349,46 e os prejuízos econômicos privados (referente à agricultura) foram de mais de R\$ 2.147.503,00. O mesmo comportamento ocorre no município de Mombaça, no Ceará, como pode ser visto na Figura 11b. Foram 27.500 pessoas afetadas, os prejuízos econômicos públicos (referente ao abastecimento de água potável) foram de mais de R\$365.347,76, os prejuízos econômicos privados (referente à agricultura e pecuária) foram de mais de R\$ 10.204.710.



(a)



(b)

Figura 11 – Risco de Seca e Registro de Ocorrência no S2iD (a) Milhã (b) Mombaça

Em relação ao mapa de risco desenvolvido pelo CEMADEN, vale ressaltar que o foco deste sistema é a agricultura familiar. A Figura 12 mostra o mapa de risco desenvolvido neste estudo e o desenvolvido pelo CEMADEN, respectivamente, para novembro de 2019.

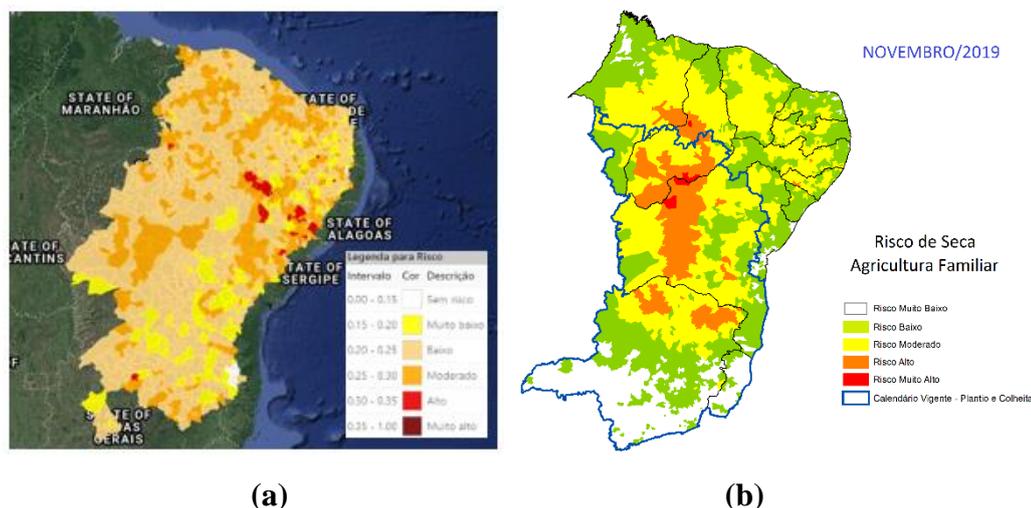


Figura 12 – Validação do Índice de Risco para novembro de 2019 (a) Índice de Risco (b) Índice de Risco do CEMADEN

O mapa de risco de seca para a agricultura familiar desenvolvido pelo CEMADEN é elaborado a partir das seguintes variáveis de ameaça: déficit de precipitação, umidade do solo e índice de vigor vegetativo. Para vulnerabilidade, são considerados: percentual dos estabelecimentos de agricultura familiar de sequeiro, dependência econômica das atividades agro produtivas e acesso e uso de práticas de convivência com o semiárido. Todas as variáveis socioeconômicas são filtradas exclusivamente para a agricultura familiar, sendo a principal fonte dos dados, o Censo Agropecuário do IBGE.

Para os municípios que foram considerados em ambos os estudos, foi feita uma comparação entre o nível do risco de seca desenvolvido neste trabalho e o risco de seca desenvolvido pelo CEMADEN. No total, 40% dos municípios apresentaram o mesmo nível de risco e 49% apresentaram diferença de um nível de risco nas categorias.

A partir dos resultados encontrados e das validações feitas para os índices de ameaça, vulnerabilidade e risco, propõe-se o desenvolvimento do sistema DRAI para monitoramento das condições de risco e a geração de alertas para os municípios do semiárido.

5. DRAI

Este capítulo apresenta e valida o sistema DRAI (*Drought Risk Assessment Interface*).

Em termos internacionais, Hoek et al. (2019) fazem uma revisão sobre os principais sistemas de monitoramento e alerta de secas desenvolvidos e os avalia de acordo com os seguintes critérios: se apresentam séries temporais, se possuem mapas espaciais, se possuem interatividade dinâmica, se apresentam os dados brutos, se possuem serviço de processamento, se realizam análise *ad-hoc*, área de cobertura, indicadores e fontes de dados. Svoboda et al. (2002), Niemeier et al. (2009) e Sheffield et al. (2013) desenvolveram soluções cuja área de atuação se concentra nos Estados Unidos, Europa e África, respectivamente, enquanto Hao et al. (2014), Becker-Reshef et al. (2010), Eberle et al. (2013), Dorigo et al. (2011), Deng et al. (2011), Begueria et al. (2013) e Van Hoolst et al. (2016) atuam em nível global.

Todos os sistemas apresentados nestas publicações utilizam dados de satélites e os principais indicadores utilizados são: precipitação, umidade do solo, evapotranspiração, vegetação e temperatura. Estes indicadores são apresentados através dos índices SPI, NDVI, VCI, SPEI e VHI. Vale ressaltar que estes indicadores e índices são referentes à componente de ameaça do risco e, portanto, os sistemas não levam em consideração dados de vulnerabilidade. Além disso, os sistemas não geram alertas de risco.

No Brasil, Cunha et al. (2019b) mencionam em seu trabalho as iniciativas desenvolvidas que buscam atender às etapas de conhecimento do risco (ameaça e vulnerabilidade), monitoramento e alerta, educação e comunicação e capacidade de resposta. Essas iniciativas foram desenvolvidas pela ANA, CEMADEN, IBGE, INPE, INMET, SEDEC, Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Secretaria Especial do Desenvolvimento Social (SEDS), Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo (SAFC), Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), centros meteorológicos estaduais, instituições públicas e universidades. No Brasil, apenas o CEMADEN foi responsável por desenvolver o conhecimento sobre risco de secas (ameaça e vulnerabilidade) e criar um

sistema de monitoramento e alerta. Para Cunha et al. (2019b), a falta do nivelamento conceitual (sobre ameaça e vulnerabilidade) é um dos gatilhos da competitividade institucional, pulverização e sobreposição de ações existentes, sejam elas técnicas, científicas ou políticas. No entanto, vale ressaltar que sua participação na etapa de monitoramento e alerta se deu através do desenvolvimento do conhecimento científico e de novas metodologias que podem contribuir para a implementação de um sistema de alerta para risco de desastres relacionado à seca no Brasil. Não existe um protocolo para o envio de alertas, apenas o diagnóstico das condições e, então, a comunicação dessas condições ao governo federal.

O sistema DRAI pretende ajudar a preencher estas lacunas. Nas próximas seções são apresentados o desenvolvimento e a validação do sistema.

5.1 Metodologia

No desenvolvimento do sistema DRAI foi utilizada a tecnologia da *Microsoft Asp.Net Web API*, cuja linguagem de programação é C#, para a interface de programação de aplicativos (API) enquanto para a aplicação *web*, foi utilizada a tecnologia *React*, cuja linguagem de programação é *Java Script*. Para o armazenamento dos dados no banco de dados foi utilizado o *Microsoft SQL Server*. A hospedagem do sistema se encontra em provedor privado assim como o domínio também foi registrado como <https://drai.live/>.

Vale destacar que a criação do banco de dados, a hospedagem do sistema no domínio registrado, bem como a integração da ferramenta ao Google Maps foi feita por uma empresa de desenvolvimento de software. A partir desta etapa estrutural da plataforma, todos os mapas, relatórios, tabelas de dados e gráficos estatísticos foram criados e publicados pela autora desta tese.

Para a validação de usabilidade do sistema DRAI e seus alertas, foram feitas 3 entrevistas semi-estruturadas com a equipe técnica do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) a fim de validar o sistema DRAI, seus alertas e estratégias de mitigação propostas. O IPA tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento rural e sustentável de Pernambuco através da geração de tecnologia, ações de assistência técnica e extensão rural e atuar no fortalecimento da infraestrutura hídrica, com atenção prioritária aos agricultores de base familiar. Os entrevistados eram extensionistas e supervisores regionais, que tem um papel estratégico no crescimento rural, especialmente dentro da agricultura familiar, atuando como estrategista na promoção do

desenvolvimento da agropecuária entre os pequenos produtores do litoral ao sertão (CEASA PE, 2021). Foram selecionados os extensionistas dos municípios de Santa Cruz do Capibaribe (entrevistado A), Casinhas (entrevistado B) e Cachoeirinha (entrevistado C) para contemplar todos os tipos de alertas gerados pelo DRAI. Além disso, estes municípios entraram em situação de emergência pelo governo do estado de Pernambuco em março de 2020, mais de 1 ano depois da geração dos primeiros alertas do DRAI (Folha de Pernambuco, 2020). As entrevistas duraram em média 36 minutos. O Apêndice B apresenta a transcrição das entrevistas, que foram guiadas pelas seguintes perguntas:

- P1: O município de (nome do município) em (data do alerta) apresentou um alerta do tipo (1 – vulnerabilidade, 2 – ameaça, 3 – risco), que significa que este município apresentou um nível (vulnerabilidade, ameaça, risco) fora do esperado. Você concorda com a geração destes alertas nestas datas? Acha que se as medidas de mitigação fossem adotadas a partir de então, isso reduziria os riscos de danos à população?
- P2: Em março de 2020, o governo decretou situação de emergência para este município. Você concorda com este decreto?
- P3: Qual é o gatilho que dá início as ações de mitigação de risco (exemplo: redução nas chuvas, perda de gado, decreto de situação de emergência do governo)?
- P4: Qual é o protocolo para ações de mitigação de risco nos casos de aumento de ameaça (ou vulnerabilidade)?
- P5: Quais as medidas de mitigação de risco de seca foram adotadas neste caso específico? O protocolo foi cumprido? Se não, por quê?
- P6: Quando as medidas abaixo são adotadas em seu município? E qual é o órgão responsável?
 - Programa Cisternas
 - Perfuração de Poços
 - Construção de barragens, aquedutos e estações de bombeamento
 - Instalação de poços profundos de grandes fluxos em bacias sedimentares
 - Operação Carro Pipa
 - Programa Garantia Safra
 - Programa Bolsa Estiagem
 - Programa de Vendas em Balcão (ProVB) (ração animal a preços subsidiados)

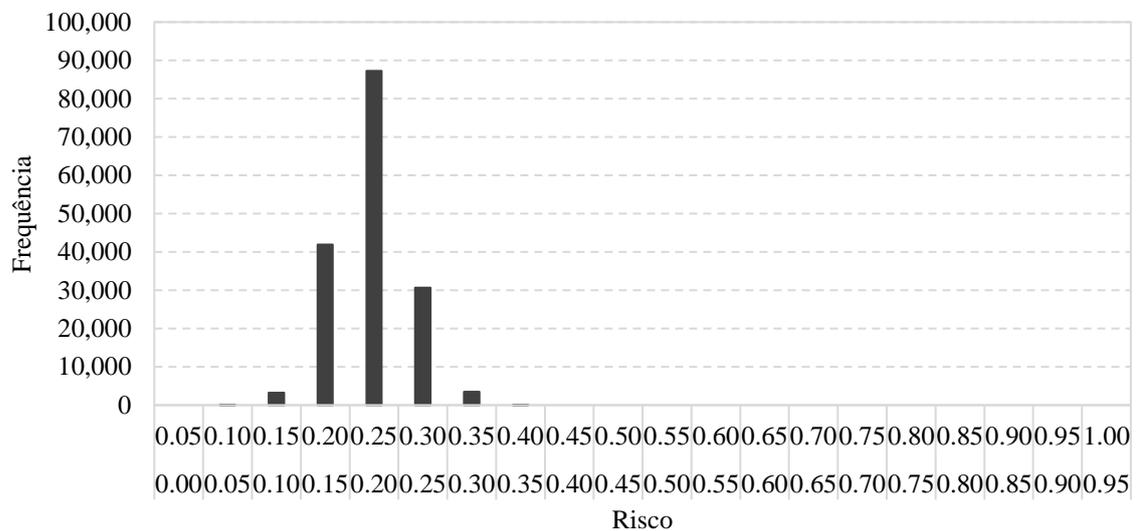
- Expansão das linhas de crédito de emergência para agricultores, comerciantes e setores da indústria / Renegociação da dívida dos agricultores

As medidas mencionadas na pergunta 6 (P6) foram levantadas por Gutiérrez et al. (2014). Em seu estudo de caso no Ceará, Gutiérrez et al. (2014) apresentaram estas medidas de mitigação com base em revisão de literatura e entrevistas com especialistas (oficiais a nível nacional e estadual, agências locais, líderes de ONGs, técnicos, executivos e representantes da indústria).

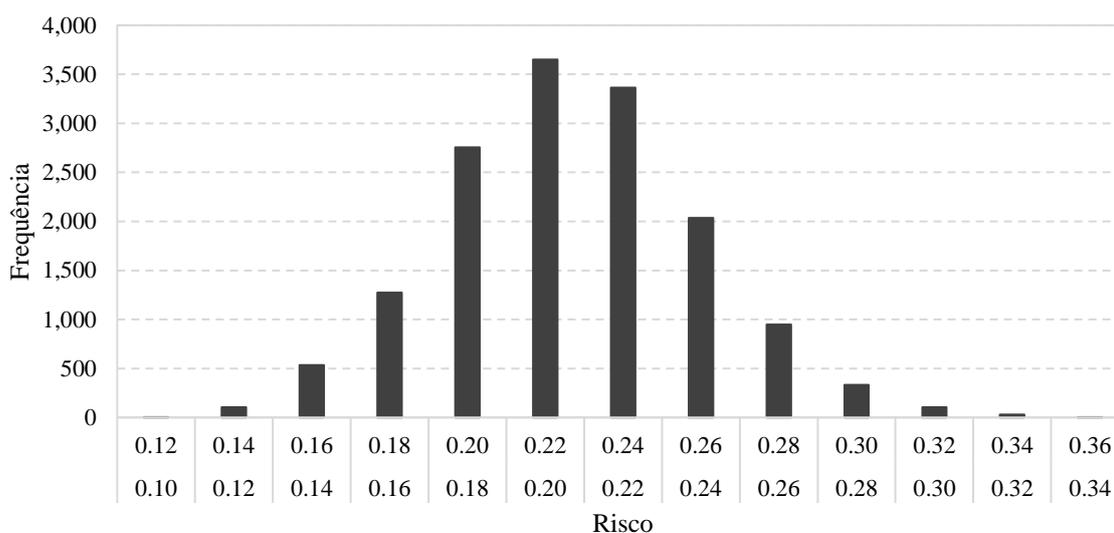
5.2 Desenvolvimento do sistema DRAI

5.2.1 Interface web

A partir dos índices de ameaça, vulnerabilidade e risco propostos e validados neste estudo, foi desenvolvido um sistema para monitorar e gerar alertas para secas na região do seminário do Brasil. O sistema DRAI gera seus alertas a partir de análises estatísticas baseadas em média e desvio padrão, pois os índices de ameaça, vulnerabilidade e risco seguem uma distribuição normal como pode ser visto na Figura 13, onde é apresentado o histograma dos valores do risco entre 2009 e 2019.



(a)



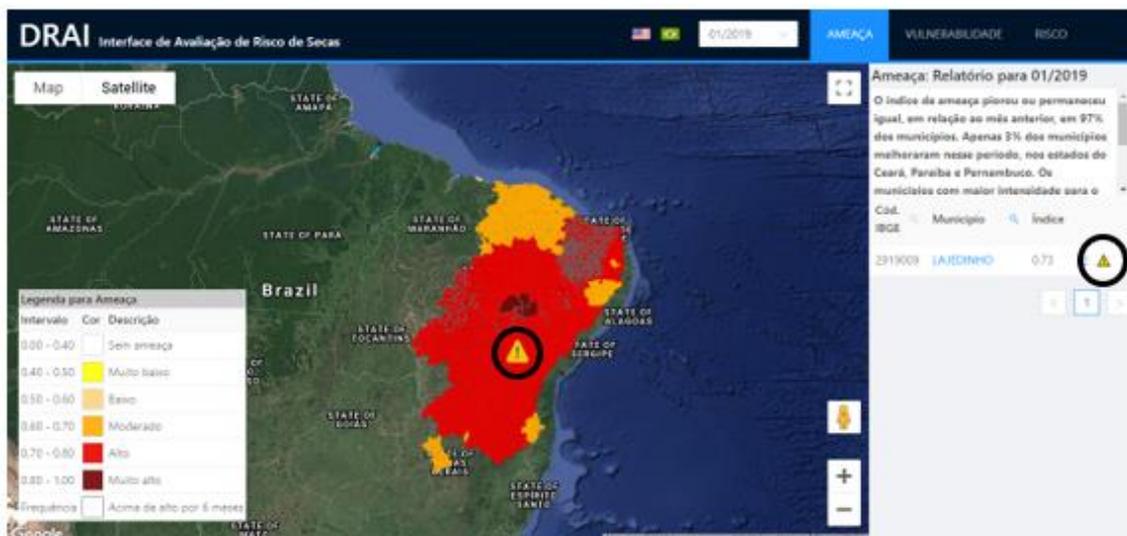
(b)

Figura 13 – Histograma de Valores do Índice de Risco em 2019 (a) Entre 0 e 1 (b) Ampliando o intervalo entre 0,10 e 0,36

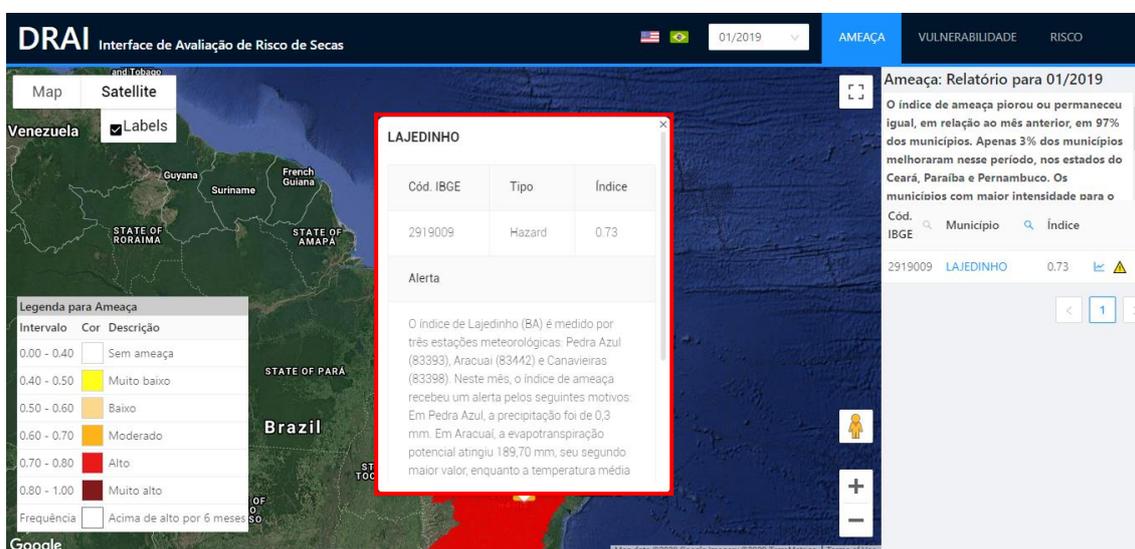
Um alerta é gerado toda vez que um índice ultrapassa o valor da média da sua série histórica somado à dois desvios padrão. O objetivo deste tipo de alerta é detectar pontos que fogem do comportamento normal da série, o que significa que nem todo alerta gerado é para municípios com índice alto ou muito alto pois este nível de intensidade pode ser comum para uma determinada região. Este alerta detecta anomalias nos índices, ou seja, aponta para índices que, mesmo levando em consideração na sua formulação os valores máximos da série histórica, apresentam comportamento fora do esperado.

O DRAI está disponível no endereço <https://drai.live/> e o manual de uso do sistema está apresentado no Apêndice C. A plataforma está disponível em português e inglês.

No mês de janeiro de 2019, por exemplo, para o índice de ameaça, foi gerado um alerta para o município de Lajedinho (BA). A Figura 14 exhibe o mapa com um ícone de alerta.



(a)



(b)

Figura 14 – DRAI (a) Alerta (b) Modal para alerta

Em setembro de 2019, 8 meses após a geração deste alerta, o governo da Bahia decretou estado de emergência para 140 municípios, incluindo Lajedinho (G1, 2019), pois houve ocorrência de longa estiagem em relatórios recentes da Superintendência de Proteção e Defesa Civil (SUDEC). Em dezembro de 2019, 11 meses após a geração deste alerta, o Rio Utinga, responsável por abastecer boa parte das cidades do entorno da Chapada da Diamantina secou e milhares de peixes morreram, a produção agrícola despencou e os moradores de alguns municípios precisaram ser abastecidos por meio de carros pipa (Correio, 2019).

Os alertas gerados precisam ser interpretados de acordo com suas componentes ameaça e vulnerabilidade, uma vez que o risco da seca pode ser igual em dois municípios, porém o motivo pode ser diferente, o que gera ações de mitigação diversas. De acordo com o MMA (2017), essa diferenciação de abordagens se faz necessária porque, muitas vezes, é identificada a tendência de um aumento na frequência e magnitude de secas meteorológicas, o que demanda diretamente medidas de adaptação e/ou de gestão de risco para minimizar os impactos potenciais. Por outro lado, há também a possibilidade de que em algumas regiões o clima não seja o principal fator determinante do risco e sim a vulnerabilidade aos desastres de secas, o que sugere a necessidade de outras estratégias de redução da vulnerabilidade que não contemple, necessariamente, medidas de adaptação propriamente ditas. Um exemplo deste caso ocorreu no município de Santa Rita de Cássia, em janeiro de 2016, quando o índice de ameaça indicava ameaça muito baixa, o índice de vulnerabilidade estava no nível moderado, mas o índice de risco ficou classificado na categoria “sem risco”, ou seja, o sistema DRAI e seu índice de risco captam essas diferentes combinações das componentes ameaça e vulnerabilidade.

Por ter que lidar com estas diferentes abordagens, este sistema tem como público-alvo não só pesquisadores da área como também as secretarias de proteção e defesa civil (SEDECs) uma vez que são os responsáveis por tomarem as medidas cabíveis de adaptação e políticas públicas de gestão de risco. A curto prazo, estes órgãos podem agir na fase de resposta e combate aos efeitos da seca através de ações como: caminhões pipas, instalação de cisternas e distribuição de sementes de melhor qualidade (MMA, 2017). A longo prazo, os órgãos responsáveis podem promover o manejo sustentável do uso da água e do solo, contribuir para o desenvolvimento e implementação de novas tecnologias (como captação de água, manutenção de água no solo, controle de pragas), financiamento de projetos sustentáveis e até subsídios para acesso a seguros.

5.2.2 Estratégias para diferentes tipos de alertas do DRAI

De acordo com Gutiérrez et al. (2014), um dos pilares de preparação para seca prevê o monitoramento e alerta precoce através de índices ligados a gatilhos de ação. Como o sistema DRAI tem como objetivo o monitoramento e alerta precoce de secas através de índices compostos, podemos associar seus alertas aos gatilhos para ação apresentados por Gutiérrez et al. (2014) para um estudo de caso no Ceará (que também pertence ao

semiárido) associando os diferentes níveis de risco e alertas apontados pelo DRAI às estratégias de mitigação do risco de secas.

O estudo de Gutiérrez et al. (2014), resultado de um projeto do Banco Mundial, avalia as estratégias de mitigação dos riscos de seca em múltiplos casos em países como Austrália, México, Espanha e os Estados Unidos, com o intuito de promover lições internacionais e boas práticas para o Brasil. Gutiérrez et al. (2014) apresentaram, então, um estudo de caso no Ceará, com base em revisão de literatura e entrevistas com especialistas (oficiais a nível nacional e estadual, agências locais, líderes de ONGs, técnicos, executivos e representantes da indústria).

As estratégias levantadas por Gutiérrez et al. (2014) são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Estratégias de Mitigação (Adaptado Gutiérrez et al., 2014)

SETOR	ESTRATÉGIA	DESCRIÇÃO
ENTREGA DE ÁGUA	Operação Carro-Pipa (OCP)	Ocorre através de uma cooperação técnica e financeira entre o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) e o Ministério da Defesa (MD) através do exército (BRASIL, 2020a). Para solicitar o atendimento, o município deve estar em situação de emergência por estiagem ou seca reconhecida pelo Governo Federal (BRASIL, 2018).
	Programa Cisternas	Sob responsabilidade do Ministério da Cidadania (MC), o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e outras Tecnologias Sociais (Programa Cisternas) tem como público-alvo famílias rurais de baixa renda atingidas pela seca ou falta regular de água e, para participar, as famílias devem necessariamente estar inscritas no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal (BRASIL, 2020b).
	Perfuração de Poços	Iniciativa do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), por meio do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), que garante água para abastecimento com regularidade em áreas rurais através da instalação de sistemas simplificados de abastecimento (BRASIL, 2020c).
	Construção de barragens, aquedutos e estações de bombeamento	Sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), o PISF (Projeto de Integração do Rio São Francisco) é um exemplo deste tipo de ação (ANA, 2020) que englobou a construção de 13 aquedutos, 9 estações de bombeamento e 27 reservatórios (BRASIL, 2020d).
	Instalação de poços profundos de grandes fluxos em bacias sedimentares	Feito para iniciar uma rede estratégica de fontes permanentes de abastecimento de água e poços em rochas cristalinas nos municípios mais sujeitos a secas. Esta está vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) (Gutiérrez et al., 2014).
SUORTE AOS AGRICULTORES	Programa Garantia Safra	Está sob coordenação do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2020e).
	Programa Bolsa Estiagem	O programa assiste agricultores familiares com renda de até dois salários mínimos em municípios em situação de emergência ou calamidade pública. O programa está sob coordenação do Ministério da Cidadania (MC) (Silva, 2020).

Programa de Vendas em Balcão (ProVB)	Criado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para beneficiar o pequeno produtor de animais, oferta milho em grãos para alimentação de animais, como aves, suínos e bovinos a preços compatíveis com os dos mercados atacadistas e com os praticados em pregões públicos (BRASIL, 2020f). Para participar do programa, os produtores precisam fazer o registro no Sistema de Cadastro Nacional de Produtores Rurais (SISCAN).
Expansão das linhas de crédito de emergência para agricultores, comerciantes e setores da indústria	Disponível nos municípios declarados em situação de emergência ou calamidade pública desde dezembro de 2011, que estão sob a jurisdição da SUDENE. A linha de crédito utiliza recursos do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE / SUDENE) e é administrada pelo Banco do Nordeste (BNB) (BRASIL, 2020g).
Renegociação da dívida dos agricultores	Disponível também para aqueles localizados em municípios em situação de emergência e reconhecidos como tal pelo Governo Federal. Isso também é feito pelo BNB (BRASIL, 2019).

Para associar estas medidas aos alertas gerados pelo DRAI, a Figura 15 apresenta a matriz de relacionamento entre os índices de ameaça e vulnerabilidade e as diferentes estratégias de mitigação a serem adotadas: Estratégias de Mitigação 0 (EM0), Estratégias de Mitigação 1 (EM1), Estratégias de Mitigação 2 (EM2) e Estratégias de Mitigação 3 (EM3).

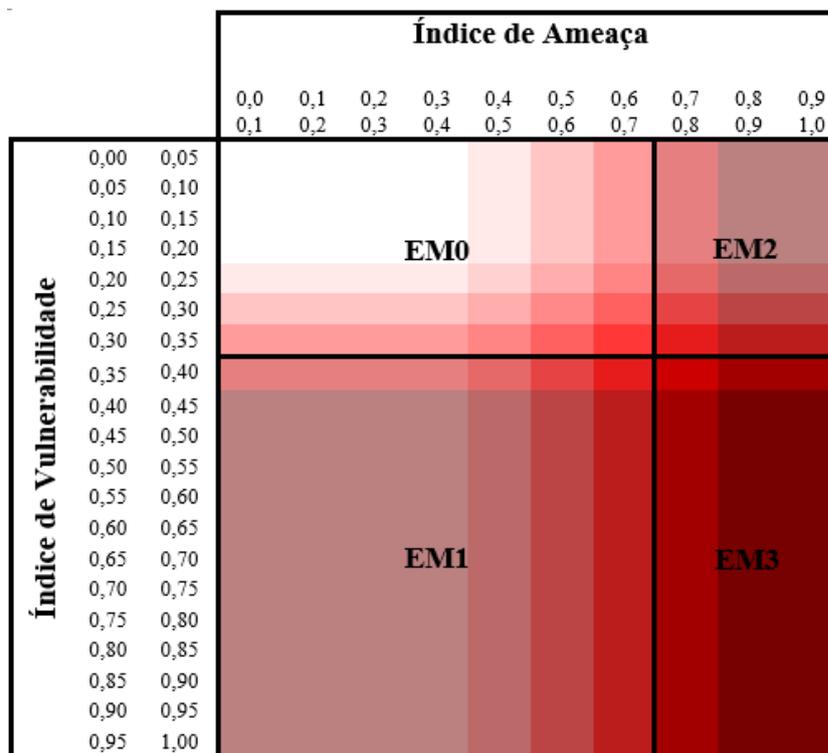


Figura 15 – Matriz de Ameaça x Vulnerabilidade e Estratégias de Mitigação (EM)

O primeiro quadrante da matriz EM0 reúne os valores de ameaça e vulnerabilidade baixos, muito baixos ou moderados, o que não requer nenhum tipo de estratégia por representar risco de seca muito baixo ou baixo. Neste caso, a ação recomendada por Gutiérrez et al. (2014) é manter o monitoramento. O quadrante EM1 reúne os municípios com risco devido a combinação de: índice de ameaça abaixo de alto e índice de vulnerabilidade acima de alto. Este grupo requer ações mais a longo prazo que possam reduzir a vulnerabilidade. O quadrante EM2 reúne os municípios com risco devido a seguinte combinação: índice de ameaça acima de alto e índice de vulnerabilidade abaixo de alto. Este grupo necessita de ações de curto prazo que consigam reduzir os efeitos da alta ameaça. Por fim, o quadrante EM3 reúne os municípios com risco mais alto devido

à combinação de ameaça e vulnerabilidade acima de alto. Neste caso, o plano de ação precisa combinar estratégias de curto e longo prazo.

A Tabela 16 resume as principais ações que podem ser tomadas para cada um dos grupos de estratégias.

Tabela 16 – Alertas e Plano de Ação

Grupo	Ameaça	Vulnerab.	Plano de Ação	Responsável
EM1	Abaixo de Alto	Acima de Alto	Implementação do Programa Cisternas	MC
			Perfuração de Poços	MDR
			Construção de barragens, aquedutos e estações de bombeamento	ANA
			Instalação de poços profundos de grandes fluxos em bacias sedimentares	MME
			Expansão das linhas de crédito de emergência para agricultores, comerciantes e setores da indústria	BNB
			Renegociação da dívida dos agricultores	BNB
EM2	Acima de Alto	Abaixo de Alto	Implementação da Operação Carro Pipa	MDR e MD
			Adesão ao Programa Garantia Safra	MAPA
			Adesão ao Programa Bolsa Estiagem	MC
			Programa de Vendas em Balcão (ProVB)	CONAB
EM3	Acima de Alto	Acima de Alto	Plano de Ação EM1 + EM2	

Para validar os alertas gerados pelo sistema DRAI bem como as estratégias de mitigação sugeridas na Tabela 14, a próxima seção apresenta os resultados de entrevistas feitas com os técnicos que atuam na extensão rural do agreste.

5.3 Validação do Sistema DRAI

A validação do sistema DRAI foi realizada através de entrevistas com os extensionistas do IPA. Foram selecionados os extensionistas dos municípios de Santa Cruz Capibaribe, Casinhas e Cachoeirinha, que receberam os seguintes tipos de alertas:

- Santa Cruz Capibaribe - alerta de ameaça em janeiro, outubro, novembro e dezembro de 2019.
- Casinhas - alerta de vulnerabilidade em janeiro, novembro e dezembro de 2019.

- Cachoeirinha - alerta de vulnerabilidade de janeiro à maio de 2019, setembro e outubro de 2019 e culminou com um alerta de risco (ameaça + vulnerabilidade) em novembro e dezembro de 2019.

Ao serem interrogados sobre estes alertas, os entrevistados concordaram e ressaltaram que a região do agreste pernambucano passou por um período de seca prolongado, por aproximadamente 7 anos consecutivos, e houve uma melhora em 2019 e 2020. Contudo, esta melhora não foi suficiente para tirar esta região da zona de risco, pois esta região tem uma irregularidade pluviométrica muito grande e as chuvas não ocorrem nas regiões mais afetadas. O entrevistado A ainda mencionou que *“o alerta poderia ajudar os agricultores a planejarem e anteciparem seus plantios, por exemplo, pois muitas vezes eles começam a plantar antes ou depois do período certo”*.

Em relação ao decreto do governo de situação de emergência para estes municípios em março de 2020, os entrevistados disseram que este decreto ocorre para possibilitar a Operação Carro Pipa. No entanto, como a região vem sofrendo com a seca há alguns anos, a Operação Carro Pipa funciona de forma contínua. Enquanto o entrevistado B alegou que *“é preciso cerca de 600mm para a plantação vingar e ainda não está sendo alcançado esse valor mesmo com a melhora da seca”*, o entrevistado A disse que *“essa operação já dura bastante tempo e continua mesmo em períodos de muita chuva, eu não sei por quê”*. Isso mostra que não existe um padrão para a solicitação da Operação Carro Pipa, mas sim uma questão política na solicitação dos caminhões através dos decretos governamentais.

Sobre os gatilhos de ação para as estratégias de mitigação, ainda que o entrevistado B tenha declarado agir preventivamente, tendo como gatilho o monitoramento das chuvas (via IPA) e o acompanhamento da perda de gado (pelo preço da ração no mercado, preço do animal na feira e preço da safra), ele menciona que *“a perda de safra a gente acaba só vendo depois, quando o gado já morreu”*. O entrevistado C ratificou esta afirmação dizendo que *“quando o preço dispara, significa que o pasto acabou e o pessoal começa a procurar os armazéns”*, o que mostra uma ação já na fase de resposta à seca, e não à mitigação e preparação. O entrevistado A mencionou ainda algumas ações que são feitas quando a perda do gado é grande: *“o governo traz cana de açúcar para a região para servir de alimento para os animais e assim evitar a perda de mais gado”*.

O entrevistado A citou medidas de preparação para a seca, como a conscientização da população através de *“alguns seminários para discutir ações sobre como conviver com a seca que são promovidos pela secretaria de agricultura e parceiros locais, para darem*

mais atenção para os locais mais vulneráveis. Nesses casos, eles tentam dar mais incentivo as produções que custam menos como, por exemplo, cultivo de galinhas. (...) Com isso, a região de Garanhuns, no agreste meridional, já consegue estocar alimentos para o período de seca (faz a silagem de capim, estoque de milho, de mandioca)”. No entanto, como esta é uma ação para reduzir a vulnerabilidade, não existe um gatilho para este tipo de ação, ela é feita nos locais mais vulneráveis esporadicamente.

Em relação aos protocolos para ações de mitigação, foram mencionados apenas os protocolos para iniciar a Operação Carro Pipa, *“quando a chuva fica muito abaixo (do esperado), o IPA comunica o governo que aciona o carro pipa”* ou *“informar as nossas gerências e solicitar o mais breve possível a contratação de carros pipa”*, e para solicitar o Garantia Safra *“em relação ao Garantia Safra, nós fazemos a solicitação de uma cota maior”*.

Ao serem questionados em relação as medidas de mitigação de risco adotadas nestes períodos de alerta, os entrevistados citaram a distribuição de folha de palma (após a perda por pragas) e cana de açúcar para os agricultores (alimentarem o gado) assim como a Operação Carro Pipa e a solicitação do Garantia Safra. O entrevistado B citou ainda que *“foi feita uma operação de semente precoce durante esses 7 anos de seca severa, desenvolvido pela EMBRAPA, essa semente vinga mesmo com pouca água”* e *“a distribuição (doação) de semente de sorgo que precisa de menos água para vingar e ter o mesmo rendimento”*. O entrevistado C mencionou que *“em forma de palestras a gente conscientiza a população em relação ao armazenamento dos animais. Nós vamos nas comunidades falando. Em junho e julho já começamos a falar do plantio das palmas para alimentar o gado e fazer a reposição de água para o gado não precisar beber tanta água”*.

Em relação aos programas já criados pelos governos, os entrevistados disseram ter acesso à construção de cisternas, Operação Carro Pipa, programa Garantia Safra e expansão das linhas de crédito de emergência para agricultores, comerciantes e setores da indústria. A construção de poços é um programa difícil de ser implementado pois *“95% dos poços dá alta salinidade”*, o que dificulta este tipo de projeto na região. A construção de barragens, aquedutos e estações de bombeamento nem sempre vale a pena pois *“para você conseguir juntar água num açude, barreira ou barragem, precisa de precipitação pluviométrica de 100 mm mas aqui só tem dado de 10 mm a 50 mm e isso não enche um açude”*. O Programa de Vendas em Balcão (ProVB) já ocorreu, *“mas demorou muito pra ser entregue e só foi quando o pessoal falou com o governador”*. Em outras localidades

ele ainda existe, mas nem sempre vale a pena porque a diferença de preço para o mercado convencional não é tão grande.

A partir do resultado das entrevistas, é possível observar que nem todas as medidas de mitigação sugeridas na Tabela 14 são viáveis para os municípios estudados, assim como os entrevistados também citaram medidas não mencionadas por Gutiérrez et al. (2014). Isso mostra que as estratégias e suas particularidades precisam ser validadas pelos usuários (técnicos) do sistema antes de serem sugeridas à população. A Tabela 17 resume as principais estratégias adotadas nos municípios de Santa Cruz do Capibaribe, Casinhas e Cachoeirinha.

Tabela 17 – Alertas e Plano de Ação

Grupo	Ameaça	Vulnerab.	Plano de Ação	Responsável
EM1	Abaixo de Alto	Acima de Alto	Implementação do Programa Cisternas	MC através do DNOCS, IPA, Cáritas, PRORURAL, ONGs e os CMDRS (Conselho Municipal de Desenvolvimento Rural Sustentável)
			Expansão das linhas de crédito de emergência para agricultores, comerciantes e setores da indústria	BNB e Banco do Brasil
			Organização de seminários para conscientização da população	ONGs Locais
EM2	Acima de Alto	Abaixo de Alto	Implementação da Operação Carro Pipa	MDR e MD através do Exército, IPA, CODECIPE (Coordenadoria de Defesa Civil do Estado de Pernambuco), COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento), Prefeituras e carros particulares
			Adesão ao Programa Garantia Safra	MAPA através da Secretaria de Desenvolvimento Agrário
			Programa de Vendas em Balcão (ProVB) / Distribuição de Folha de Palma ou Cana de Açúcar para o Gado	CONAB
			Distribuição de Semente Precoce (ex.: Sorgo)	IPA, EMATERES e Secretaria de Agricultura
EM3	Acima de Alto	Acima de Alto	Plano de Ação EM1 + EM2	

Apesar de muitas dessas medidas já serem adotadas pelos governos locais, os entrevistados alegam que existe uma questão política que interfere diretamente na eficiência desses planos de ação como, por exemplo, a burocracia exigida para a implementação de alguns desses programas (o que acaba tornando a medida tardia) ou até mesmo relacionamentos com prefeitos e governadores que podem enviar as estratégias propostas.

6. Conclusão

Esta tese tem como objetivo principal o desenvolvimento um sistema de monitoramento e alerta de risco de secas meteorológicas para a região do semiárido do Brasil. Este sistema de monitoramento foi construído a partir de três índices compostos: um índice de ameaça (considerando suas componentes intensidade e frequência), um índice de vulnerabilidade e, como resultado dos dois anteriores, um índice de risco.

Para tanto, foi feita uma revisão da literatura, para entender as lacunas nos estudos sobre risco de secas. A partir da revisão da literatura conclui-se que os estudos sobre risco de secas apresentam tendência de crescimento no número de publicações nos últimos anos. A seca meteorológica e a seca hidrológica são as que recebem menos atenção e existe uma lacuna de estudos no Brasil. A maior parte dos estudos se concentra no risco de forma holística ou na componente vulnerabilidade enquanto a componente ameaça tem menos publicações e, as publicações que abordam esta componente geralmente focam na intensidade da seca enquanto a frequência não é analisada. Outra conclusão apresentada é que o uso de índices compostos é comum e recomendado pelos principais autores da área. Existem algumas técnicas como *k-means* e *fuzzy* para ponderar os múltiplos indicadores através do AHP mas apenas dois estudos, no Irã e em Bangladesh, usam a opinião de especialistas da área para ponderação.

No desenvolvimento dos índices compostos, foi utilizado o AHP para ponderação dos indicadores de acordo com a opinião de especialistas. O índice de ameaça foi construído com base em oito indicadores (precipitação, evapotranspiração, temperatura (média, máxima e mínima), umidade relativa do ar, insolação total e velocidade do vento) provenientes do INMET. A ponderação destes indicadores feita através do AHP levou em consideração a opinião de 22 especialistas da área, que responderam a um questionário com perguntas que faziam comparações em pares desses indicadores. Este índice varia de 0 a 1 e tem as seguintes categorias de ameaça: nenhuma, muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta. A validação foi feita através da comparação de seus resultados com o IIS e o Monitor de Secas do Nordeste. Os resultados mostram que a ameaça tem um comportamento sazonal e, para a região do semiárido, ela costuma se intensificar entre abril/maio e outubro.

O índice de vulnerabilidade contou também com oito indicadores (cobertura vegetal florestal, índice de tratamento e coleta de esgoto, eficiência do uso da água, razão entre área plantada e área colhida, densidade populacional, PIB per capita, acesso ao garantia safra e número de maquinário agrícola por unidade de área) provenientes de instituições como IBGE, SNIS, MDA, MAPA e Portal da Transparência. A ponderação destes indicadores também foi feita através do AHP considerando a opinião de 20 especialistas da área. Este índice varia de 0 a 1 e tem as seguintes categorias de vulnerabilidade: nenhuma, muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta. A validação foi feita através da comparação dos resultados com o índice de vulnerabilidade do INPE e o IVDNS do MMA. Os resultados mostram que Pernambuco e Alagoas são estados que tem os municípios mais vulneráveis em 2019 e mais municípios afetados pela seca, 52% e 77,5%, respectivamente. No entanto, menos de 24,8% e 22,5% dos municípios, para Pernambuco e Alagoas, respectivamente, possuem plano de contingência ou ameaça de desastre natural.

Ao fim desta primeira etapa, foi calculado o índice de risco que é o resultado da multiplicação dos dois índices calculados anteriormente (ameaça e vulnerabilidade). Portanto, ele também é um valor de 0 a 1 que tem as mesmas seis categorias de risco: nenhum, muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. Para validá-lo, foi feita a comparação dos resultados com dados registrados no S2iD, sobre ocorrências de secas, e com o mapa de risco de seca para a agricultura familiar, do CEMADEN.

Por fim, todas essas informações foram reunidas no sistema DRAI que permite que as secas meteorológicas sejam monitoradas e alertas sejam gerados para municípios com risco de seca. Os alertas detectam municípios que fogem do padrão normal de comportamento do risco e permitem que ações sejam tomadas para mitigar os impactos da seca nos municípios do semiárido. As ações de mitigação englobam a Operação Carro Pipa, Programa Garantia Safra, implementação do Programa Cisternas, distribuição de ração à preço subsidiado, acesso à linhas de crédito e renegociação de dívida dos agricultores locais, e foram validadas junto com os alertas gerados, pelos extensionistas (técnicos locais) do IPA. Este sistema poderá ser utilizado pelas SEDECs para adotarem esse e outros planos de mitigação de impactos a curto e a longo prazo, além de outros pesquisadores da área.

A principal limitação deste estudo é a periodicidade com que os indicadores que compõem o índice de ameaça e vulnerabilidade são atualizados. Por sofrerem atrasos na sua publicação ou serem em grande parte anuais ou decenais, os índices não são

atualizados em tempo real. Uma outra limitação é a falta dos dados que compõem os mapas do Monitor de Secas do Nordeste, o que dificulta comparações estatísticas e permite apenas comparações visuais.

Como estudos futuros podem ser feitas atualizações na revisão da literatura, automatizações no processo de coleta de dados do INMET para a atualização do índice de ameaça pois este processo é feito manualmente no momento. Além disso, também podem ser utilizados dados satelitários para a construção do índice de ameaça. A substituição dos indicadores escolhidos para o índice de vulnerabilidade por indicadores semelhantes, mas que sejam publicados mensalmente, pode tornar a atualização dos índices menos defasada. Também deve-se considerar, no DRAI, a implementação de novas funcionalidades, como download dos dados em ambiente adequado para o uso de pesquisadores e a disponibilização das estratégias de ação para mitigar ou adaptar às situações de seca de acordo com os alertas gerados.

br/assuntos/noticias/2020/setembro/operacao-carro-pipa-e-selecionada-para-integrar-projeto-para-estimular-inovacao-na-administracao-publica>. Acesso: 22 nov. 2020.

BRASIL. CASA CIVIL. **Programa Cisternas do Governo Federal garante a segurança alimentar ao semiárido nordestino.** 2020b. Disponível em: < <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2020/agosto/programa-cisternas-do-governo-federal-garante-a-seguranca-alimentar-ao-semiarido-nordestino>>. Acesso: 22 nov. 2020.

BRASIL. GOVERNO DO BRASIL. **18 municípios no sertão da Bahia estão com abastecimento de água garantido.** 2020c. Disponível em: < <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2020/04/governo-federal-garante-abastecimento-de-agua-em-18-municipios-no-sertao-da-bahia>>. Acesso: 22 nov. 2020.

BRASIL. SUDENE. **Plano Regional de Desenvolvimento do Nordeste: Segurança Hídrica e Conservação Ambiental.** 2020d. Disponível em: < <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/pr-consolidado-seghidrica-pdf-pdf>>. Acesso: 22 nov. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Mapa abre inscrições do Garantia-Safra para período 2020/21.** 2020e. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-abre-inscricoes-do-garantia-safra-para-periodo-2020-21>>. Acesso: 22 nov. 2020.

BRASIL. AGRICULTURA FAMILIAR. **Mais de 33 mil toneladas de milho serão ofertadas pelo programa Vendas no Balcão em junho.** 2020f. Disponível em: < <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2020/06/mais-de-33-mil-toneladas-de-milho-serao-ofertadas-pelo-programa-vendas-no-balcao-em-junho>>. Acesso: 22 nov. 2020.

BRASIL. BANCO NACIONAL DO NORDESTE. **FNE Rural - Programa de Apoio ao Desenvolvimento Rural do Nordeste.** 2020g. Disponível em: < <https://www.bnb.gov.br/fne-rural>>. Acesso: 22 nov. 2020.

BRAVO, R. Z. B.; LEIRAS, A.; CYRINO, F. L. O. The use of UAVs in humanitarian relief: an application of POMDP-based methodology for finding victims. **Production and Operations Management**, v. 28, p. 421-440, 2019a. <https://doi.org/10.1111/poms.12930>

BRAVO, R. Z. B.; LEIRAS, A.; CYRINO, F. L. O. A new approach for a Drought Composite Index. **Natural Hazards**, 2019b - Under Review.

BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M. A.; CASTRO, C. C.; ALVALÁ, R. C. S.; MARENGO, J.A.; CARVALHO, M. Frequency, duration, and severity of drought in the Brazilian semi-arid. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 1, 2018. doi:10.1002/joc.5225. 2018.

BUURMAN, J.; BUI, D. D.; DU, L. T. T. Drought risk assessment in Vietnamese communities using household survey information. **International Journal of Water Resources Development**, v. 36, n. 1, p. 88-105, 2019. <https://doi.org/10.1080/07900627.2018.1557038>

CEASA PE. **Extensão rural em Pernambuco é tema de debate em Gravatá.** 2021. Disponível em: < <https://www.ceasape.org.br/noticias/extensao-rural-em-pernambuco-e-tema-de-debate-em-gravata>>. Acesso em: 5 jan. 2021.

CEMADEN. **Sistema de Monitoramento de Seca para o Brasil.** 2019. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/sistema-de-monitoramento-de-seca-para-o-brasil-janeiro2019-2/>>. Acesso em: 29 mai. 2019.

CGU. **Controladoria Geral da União.** 2014. Relatório de Avaliação da Execução de Programas de Governo nº 29 Contribuição ao Fundo Garantia-Safra. Disponível em: <<https://auditoria.cgu.gov.br/download/3246.pdf>>. Acesso em: 2 mai. 2020.

CHENG, J.; TAO, J. P. Fuzzy comprehensive evaluation of drought vulnerability based on the Analytic Hierarchy Process - An empirical study from Xiaogan City in Hubei Province. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 1, p. 126-135, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2010.09.015>

CHEN, J.; LIU, Y.; PAN, T.; LIU, Y.; SUN, F.; GE, Q. Population exposure to droughts in China under the 1.5°C global warming target. **Earth System Dynamics**, v. 9, issue 3, p. 1097-1106, 2018. <https://doi.org/10.5194/esd-2017-100>

- CHOU, J.; XIAN, T.; ZHAO, R.; XU, Y.; YANG, F.; SUN, M. Drought risk assessment and estimation in vulnerable eco-regions of China: Under the background of climate change. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, issue 16, n. 4463, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11164463>
- CNM, Confederação Nacional De Municípios. **CNM orienta sobre uso e gestão de máquinas agrícolas doadas no PAC 2**. 2020. Disponível em: < <https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/declaracao-final-das-maquinas-do-pac-2-deve-ser-apresentada-por-1-2-mil-municipios>>. Acesso: 22 nov. 2020.
- CORREIO. **Disputa por água ameaça empregos e produção de alimentos na Chapada**. 2019. Disponível em: < <https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/disputa-por-agua-ameaca-empregos-e-producao-de-alimentos-na-chapada/>>. Acesso: 11 ago. 2020.
- CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C. S.; NOBRE, C. A.; CARVALHO, M. A. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian Semiarid Region. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214-215, p. 494-505, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.09.010>
- CUNHA, A. P.; MARCHEZINI, V.; LINDOSO, D.; SAITO, S.; ALVARÁ, R. C. The challenges of Consolidation of a Drought-Related Disaster Risk Warning System to Brazil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 10, n. 1, p. 43-76, 2019a. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v10n1.2019.19380>
- CUNHA, A. P.; ALVALÁ, R. C. S.; CUARTAS, A. L.; ORSINI, J. A. M.; MARCHEZINI, V.; SAITO, S. M. S.; MUNOZ, V.; LEAL, K. R. D.; RIBEIRO-NETO, G.; SELUCHI, M. E.; ZERI, L. M. M.; CASTRO, C. A. C.; COSTA, L. C. O.; ZHANG, R.; MORAES, O. L. L. Brazilian Experience on the Development of Drought monitoring and Impact Assessment Systems. **Contributing Paper to GAR**, 2019b.
- DE NYS, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. Secas no Brasil: política e gestão proativas. Brasília, DF. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE; Banco Mundial**, 2016. 292 p
- DEGER. **Departamento de Gestão de Riscos**. 2019. Garantia-Safra Benefício condicionado da Agricultura Familiar. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/garantia-safra/arquivos/dados-consolidados.pdf>>. Acesso em: 2 mai. 2020.
- DENG, M.; DI, L.; HAN, W.; YAGCI, A.; PENG, C. The Development of a Web-service-based On-demand Global Agriculture Drought Information System. **AGU Fall Meeting Abstracts 52** (December): NH52A-08, 2011.
- DORIGO, W. A.; WAGNER, W.; HOHENSINN, R.; HAHN, S.; PAULIK, C.; XAVER, A.; GRUBER, A. The International Soil Moisture Network: A Data Hosting Facility for Global in situ Soil Moisture Measurements. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, n. 5, p. 1675–1698, 2011. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1675-2011>.
- EBERLE, J.; CLAUSNITZER, S.; HÜTTICH, C.; SCHMULLIUS, C. Multi-source Data Processing Middleware for Land Monitoring Within a Web-based Spatial Data Infrastructure for Siberia. **ISPRS International Journal of Geo-information**, v. 2, n. 3, p. 553–576, 2013. <https://doi.org/10.3390/ijgi2030553>
- ECKHARDT, D.; LEIRAS, A.; THOMÉ, A. M. T. Systematic literature review of methodologies for assessing the costs of disasters. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 33, p. 398-416, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.10.010>
- FANG, D.; HU, Z.; WANG, Z.; DUAN, G. Drought disaster risk assessment and mapping at different scales based on RS and GIS. **19th International Conference on Geoinformatics**, 2011. <https://doi.org/10.1109/GeoInformatics.2011.5980770>
- FOLHA DE PERNAMBUCO. **Ministério reconhece situação de emergência por seca em 61 cidades do Agreste**. 2020. Disponível em: < <https://www.folhape.com.br/noticias/pernambuco/ministerio-reconhece-situacao-de-emergencia-por-seca-em-61-cidades-do/132469/>>. Acesso: 5 jan. 2021.
- FONTAINE, M. M.; STEINEMANN, A. C. Assessing vulnerability to natural hazards: Impact-based method and application to drought in Washington state. **Natural Hazards Review**, v. 10, n. 1, p. 11-18, 2009. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2009\)10:1\(11\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2009)10:1(11))
- G1. **Governo decreta estado de emergência em 140 cidades da Bahia por causa da seca**. 2019. Disponível em: < <https://g1.globo.com/ba/bahia/noticia/2019/09/28/governo-decreta-estado-de-emergencia-em-140-cidades-da-bahia-por-cao-da-seca.ghtml>>. Acesso: 6 mai. 2020.

- GREYNET. **GreyNet International 2019**. Disponível em: <<http://www.greynet.org/>>. Acesso em: 11 mai. 2019.
- GUO, E.; LIU, X.; ZHANG, J.; WANG, Y.; WANG, C.; WANG, R.; LI, D. Assessing spatiotemporal variation of drought and its impact on maize yield in Northeast China. **Journal of Hydrology**, v. 553, p. 231-247, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.060>
- GUO, Y.; WANG, R.; TONG, Z.; LIU, X.; ZHANG, J. Dynamic evaluation and regionalization of maize drought vulnerability in the midwest of Jilin Province. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, issue 5, n. 4234, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11154234>
- GUTIÉRREZ, A. P. A.; ENGLE, N. L.; DE NYS, E.; MOLEJÓN, C.; MARTINS, E. S. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 95-106, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2013.12.001>
- HAO, Z.; AGHAKOUCHAK, A.; NAKHJIRI, N.; FARAHMAND, A. Global Integrated Drought Monitoring and Prediction System. **Scientific Data** 1 (March): 140001, 2014. <https://doi.org/10.1038/sdata.2014.1>.
- HAO, Z.; HAO, F.; SINGH, V. P.; OUYANG, W.; CHENG, H. An integrated package for drought monitoring, prediction and analysis to aid drought modeling and assessment. **Environmental Modelling and Software**, v. 91, p. 199-209, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.02.008>
- HAYES, M. J.; WILHELMI, O. V.; KNUTSON, C. L. Reducing drought risk: Bridging theory and practice. **Natural Hazards Review**, v. 5, n. 2, p. 106-113, 2004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2004\)5:2\(106\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2004)5:2(106))
- HOEK, M.; ZHOU, J.; JIA, L.; LU, J.; ZHENG, C.; HU, G.; MENENTI, M. A prototype web-based analysis platform for drought monitoring and early warning. **International Journal of Digital Earth**, 2019. <https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1585978>
- HOOLST, R. V.; EERENS, H.; HAESSEN, D.; ROYER, A.; BYDEKERKE, L.; ROJAS, O.; LI, Y.; RACIONZER, P. FAO's AVHRR-based Agricultural Stress Index System (ASIS) for Global Drought Monitoring. **International Journal of Remote Sensing**, v. 37, n. 2, p. 418-439, 2016. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1126378>.
- HOQUE, M. A.-A.; PRADHAN, B.; AHMED, N. Assessing drought vulnerability using geospatial techniques in northwestern part of Bangladesh. **Science of the Total Environment**, v. 705, n. 135957, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135957>
- HUANG, L.; YANG, P.; REN, S. The vulnerability assessment method for beijing agricultural drought. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 419, p. 269-280, 2014a.
- HUANG, L.; YANG, P.; REN, S. Brief probe into the key factors that influence Beijing agricultural drought vulnerability. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 420, p. 392-403, 2014b. https://doi.org/10.1007/978-3-642-54341-8_41
- IBGE. **Área e Densidade Demografica da Unidade Territorial 2010**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1301#resultado>>. Acesso em: 23 dez. 2019.
- IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios. 2016**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?t=resultados&c=1100015>>. Acesso em: 23 dez. 2019.
- IBGE. **Área Plantada ou Destinada à Colheita. 2017a**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>>. Acesso em: 23 dez. 2019.
- IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios. 2017b**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>>. Acesso em: 2 mai. 2020.
- IBGE. **Número de Estabelecimentos Agropecuários. 2017c**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6641#resultado>>. Acesso em: 23 dez. 2019.
- IBGE. **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil. 2018**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento_cobertura_uso_terra/v1/>. Acesso em: 30 abr. 2020.
- IBGE. **Estimativas de População. 2019**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/estimapop/tabelas>>. Acesso em 2 mai. 2020.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2021. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/sobre>>. Acesso em 18 mar. 2021.

INPE. **Projeto mapeia vulnerabilidade da população a secas em municípios do semiárido**. 2015. Disponível em: < http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3999>. Acesso em: 22 abr. 2020.

IPCC. **Climate Adaptation: Seizing the challenge**. World Economic Forum, 2014.

IPEA. **Atlas da Vulnerabilidade Social nos Municípios Brasileiros**. 2015. Disponível em: < http://ivs.ipea.gov.br/images/publicacoes/Ivs/publicacao_atlas_ivs.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2020.

JAYANTHI, H.; HUSAK, G. J.; FUNK, C.; MAGADZIRE, T.; CHAVULA, A.; VERDIN, J. P. Modeling rain-fed maize vulnerability to droughts using the standardized precipitation index from satellite estimated rainfall-Southern Malawi case study. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 4, p. 71-81, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2013.02.001>

JIA, H.; WANG, J.; CAO, C.; PAN, D.; SHI, P. Maize drought disaster risk assessment of China based on EPIC model. **International Journal of Digital Earth**, v. 5, n. 6, p. 488-515, 2012. <https://doi.org/10.1080/17538947.2011.590535>

JIANG, S.; YANG, R.; CUI, N.; ZHAO, L.; LIANG, C. Analysis of drought vulnerability characteristics and risk assessment based on information distribution and diffusion in Southwest China. **Atmosphere**, v. 9, n. 7, p. 239, 2018. <https://doi.org/10.3390/atmos9070239>

KARAMOUZ, M.; ZEYNOLABEDIN, A.; OLYAEI, M. A. Mapping regional drought vulnerability: A case study. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, v. 40, n. 1W5, p. 369-377, 2015. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W5-369-2015>

KARAVITIS, C. A.; TSESMELIS, D. E.; SKONDRAS, N. A.; STAMATAKOS, D.; ALEXANDRIS, S.; FASSOULI, V.; VASILAKOU, C. G.; OIKONOMOU, P. D.; GREGORIČ, G.; GRIGG, N. S.; VLACHOS, E. C. Linking drought characteristics to impacts on a spatial and temporal scale. **Water Policy**, v. 16, issue 6, p. 1172-1197, 2014. <https://doi.org/10.2166/wp.2014.205>

KUSWANTO, H.; FITHRIASARI, K.; INAS, R. Drought risk mapping in East Nusa Tenggara Indonesia based on return periods. **Asian Journal of Scientific Research**, v. 11, n. 4, p. 489-497, 2018. <https://doi.org/10.3923/ajsr.2018.489.497>

LEAL, J. E. AHP-express: A simplified version of the analytical hierarchy process method. **MethodsX**, v. 7, n. 100748, 2020.

LETRAS AMBIENTAIS. **Uma radiografia da seca nos estados do nordeste, em mapas**. 2019. Disponível em: <<https://www.letrasambientais.com.br/posts/uma-radiografia-da-seca-nos-estados-do-nordeste,-em-mapas>>. Acesso em: 24 dez. 2019.

LI, Y.; GU, W.; CUI, W.; CHANG, Z.; XU, Y. Exploration of copula function use in crop meteorological drought risk analysis: a case study of winter wheat in Beijing, China. **Natural Hazards**, v. 77, p. 1289-1303, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1649-2>

LI, Y. P.; YE, W.; WANG, M.; YAN, X. D. Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts. **Climate Research**, v. 39, n. 1, p. 31-46, 2009. <https://doi.org/10.1029/2001GL013561>

MDA. **Ministério do Desenvolvimento Agrário**. 2019. Aportes financeiros dos Municípios, Estado e União ao Fundo Garantia Safra. Disponível em: <http://dados.mda.gov.br/dataset/b1cbdd11-4f2f-425f-8919-5c421c2c96b8/resource/0c68f5a7-1d31-476f-9cfe-f67b92005762/download/aportes-safra-2017.2018-2019_02_07.xlsx>. Acesso em: 2 mai. 2020.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2020. Garantia-Safra antecipa o benefício para agricultores familiares e vai pagar R\$ 73,3 milhões em abril. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/garantia-safra-antecipa-o-beneficio-para-agricultores-familiares-e-vai-pagar-r-73-3-milhoes-em-abril>>. Acesso em: 2 mai. 2020.

MARCHEZINI, V.; LONDE, L. R.; BERNARDES, T.; CONCEIÇÃO, R. S.; SANTOS, E. V.; SAITO, S. M.; SOLER, L.; SILVA, A. E. P.; BORTOLETTO, K. C.; MEDEIROS, M. D. S.; GONÇALVES, D. A. Sistema de alerta de risco de desastres no Brasil: desafios à redução da vulnerabilidade institucional. **Reduction of vulnerability to disasters: from knowledge to action**, ed. 1, chapter 11, p. 287-310, Rima Editora, 2017

- MARTINS, E.; DE NYS, E.; SILVA, R. F. V.; ENGLE, N. L. Monitor de Secas do Nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas. **Série Águas**, v. 10, 2015. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4238.8886>, 2015
- MEDEIROS, C. N.; SOUZA, M. J. N. Metodologia para Mapeamento da Vulnerabilidade Socioambiental: Caso do Município de Caucaia, Estado Do Ceará. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA Fortaleza, Brasil**, v. 10, n. 1, p. 54-73, 2016. <https://doi.org/10.22411/rede2016.1001.04>
- MMA. **Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Integração Nacional, WWF-Brasil**. 2017. Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima. Disponível em: <https://d3nehc6y19qzo4.cloudfront.net/downloads/estudo_secas_completo_com_isbn.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2020.
- MONGEON, P.; PAUL-HAUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, v. 106, p. 213-228, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- MURTHY, C. S.; LAXMAN, B.; SETHA SAI, M. V. R. Geospatial analysis of agricultural drought vulnerability using a composite index based on exposure, sensitivity and adaptive capacity. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 12, p. 163-171, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.01.004>
- MURTHY, C. S.; SINGH, J.; KUMAR, P.; SETHA SAI, M. V. R. A composite index for drought hazard assessment using CPC rainfall time series data. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 14, n. 9, p. 1981-1988, 2017. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1278-2>
- NAGARAJAN, R.; SREEDHAR, G. Micro-level drought vulnerability assessment using standardised precipitation index, standardised water-level index, remote sensing and GIS. **ACRS 2015 - 36th Asian Conference on Remote Sensing: Fostering Resilient Growth in Asia, Proceedings**, 2015.
- NAM, W. H.; HAYES, M. J.; SVOBODA, M. D.; TADESSE, T.; WILHITE, D. A. Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea. **Agricultural Water Management**, v. 160, p. 106-117, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.029>
- NAUMANN, G.; BARBOSA, P.; GARROTE, L.; IGLESIAS, A.; VOGT, J. Exploring drought vulnerability in Africa: An indicator based analysis to be used in early warning systems. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, issue 5, p. 1591-1604, 2014. <https://doi.org/10.5194/hess-18-1591-2014>
- NERI, C.; MAGAÑA, V. Estimation of vulnerability and risk to meteorological drought in Mexico. **Weather, Climate, and Society**, v. 8, n. 2, p. 95-110, 2016. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-15-0005.1>
- NIEMEYER, S.; DE JAGER, A.; KURNIK, B.; LAGUARDIA, G.; MAGNI, D.; NITCHEVA, O.; ROSSI, S.; WEISSTEINER, C. Current State of Development of the European Drought Observatory. **EGU General Assembly 2009**, held 19–24 April, 2009 in Vienna, Austria, v. 11, n. 12802, 2009.
- NÚÑEZ, J.; VERGARA, A.; LEYTON, C.; METZKES, C.; MANCILLA, G.; BETTANCOURT, D. Reconciling drought vulnerability assessment using a convergent approach: Application to Water Security in the Elqui River basin, North-Central Chile. **Water (Switzerland)**, v. 9, issue 8, n. 589, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9080589>
- OLIVARES, B.; CORTEZ, A.; LOBO, D.; PARRA, R.; REY, J.; RODRÍGUEZ, M. Evaluation of agricultural vulnerability to drought weather in different locations of Venezuela. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 34, n. 1, p. 103-129, 2017. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.07>
- ORTEGA-GAUCIN, D.; LÓPEZ PÉREZ, M.; ARREGUÍN CORTÉS, F. I. Drought Risk Management in Mexico: Progress and Challenges. **International Journal of Safety and Security Engineering**, v. 6, n. 2, p. 161-170, 2016. <https://doi.org/10.2495/SAFE-V6-N2-161-170>
- ORTEGA-GAUCIN, D.; BARTOLÓN, J. C.; BAHENA, H. V. C. Drought vulnerability indices in Mexico. **Water (Switzerland)**, v. 10, issue 11, n. 1671, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10111671>
- PALCHAUDHURI, M.; BISWAS, S. Application of AHP with GIS in drought risk assessment for Puruliya district, India. **Natural Hazards**, v. 84, n. 3, p. 1905-1920, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2526-3>
- PEI, W.; FU, Q.; LIU, D.; LI, T.; CHENG, K. Assessing agricultural drought vulnerability in the Sanjiang Plain based on an improved projection pursuit model. **Natural Hazards**, v. 82, issue 1, p. 683-701, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2213-4>

PEI, W.; FU, Q.; LIU, D.; LI, T.; CHENG, K.; CUI, S. A Novel Method for Agricultural Drought Risk Assessment. **Water Resources Management**, v. 33, n. 6, p. 2033-2047, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02225-8>

PORTAL DA TRANSPARÊNCIA. **Garantia Safra**. 2019. Disponível em: <<http://www.portaltransparencia.gov.br/pagina-interna/603410-dicionario-de-dados-garantia-safra>>. Acesso em: 23 dez. 2019.

S2iD. **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres**. 2020. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/index.xhtml#>>. Acesso em: 13 jan. 2021.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **J Math Psychol**, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)

SAATY, T. L. The analytic hierarchy process - what it is and how it is used. **Mathl Modelling**, v. 9, n. 3, p. 161-176, 1987. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)

SAATY, T. L. Decision making for leaders. Pittsburg, USA: WS. Publications, 2000.

SAM, A. S.; ABBAS, A.; ARSHAD, M.; KÄCHELE, H. Analysing vulnerability to climate change in india with special reference to drought risk: Results from a field survey. **Environmental Science and Engineering (Subseries: Environmental Science)**, issue 203019, p. 409-427, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31014-5_25

SHAHID, S.; BEHRAWAN, H. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. **Natural Hazards**, v. 46, n. 3, p. 391-413, 2008. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9191-5>

SHARAFI, L.; ZARAFSHANI, K.; KESHAVARZ, M.; AZADI, H.; VAN PASSEL, S. Drought risk assessment: Towards drought early warning system and sustainable environment in western Iran. **Ecological Indicators**, v. 114, n. 106276, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106276>

SHEFFIELD, J.; WOOD, E. F.; CHANEY, N.; GUAN, K.; SADRI, S.; YUAN, X.; OLANG, L. A Drought Monitoring and Forecasting System for Sub-Saharan African Water Resources and Food Security. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 95, n. 6, p. 861–882, 2013. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00124.1>.

SILVA, C. J. **Governo vai criar bolsa-estiagem para agricultores que trabalham para subsistência**. 2020. Disponível em: < https://www.redegn.com.br/index.php?sessao=noticia&cod_noticia=37863>. Acesso: 22 nov. 2020.

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. 2020. Disponível em:<<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: 2 mai. 2020.

SPEI. **The Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index**. 2019. Disponível em: <<http://spei.csic.es/index.html>>. Acesso em: 1 mai. 2019.

SUDENE. **Delimitação do Semiárido**. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/delimitacao-dosemiarido>>. Acesso em: 29 abr. 2019

SVOBODA, M.; LECOMTE, D.; HAYES, M.; HEIM, R.; GLEASON, K.; ANGEL, J.; RIPPEY, B. The Drought Monitor. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, n. 8, p. 1181–1190, 2002. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1181>.

TÁNAGO, I. G.; URQUIJO, J.; BLAUHUT, V.; VILLARROYA, F.; DE STEFANO, L. Learning from experience: a systematic review of assessments of vulnerability to drought. **Natural Hazards**, v. 80, p. 951-973, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2006-1>

THOMÉ, A. M. T.; SCARVADA, L. F.; SCARVADA, A. Conducting systematic literature review in operations management. **Production Planning & Control**, v. 27, n. 5, p. 408-420, 2016a. <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1129464>

THOMÉ, A. M. T.; SCARVADA, A.; CERYNO, P. S.; REMMEN, A. Sustainable new product development: a longitudinal review. **Clean Techn Environ Policy**, v. 18, p. 2195-2208, 2016b. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1166-3>

UNISDR. Drought Risk Reduction Framework and Practices: Contributing to the Implementation of the Hyogo Framework for Action. **United Nations secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction**. Geneva, 2009.

- WANG, J.; MENG, Y. An analysis of the drought in Yunnan, China, from a perspective of society drought severity. **Natural Hazards**, v. 67, n. 2, p. 431-458, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0572-7>
- WANG, Y.; ZHAO, W.; ZHANG, Q.; YAO, Y. B. Characteristics of drought vulnerability for maize in the eastern part of Northwest China. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 964, 2019. <https://doi.org/10.1155/2015/172919>
- WANG, Y.; ZHANG, Q.; YAO, Y. B. Drought vulnerability assessment for maize in the semiarid region of northwestern China. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 140, p. 1207-1220, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03138-y>
- WIDIANTA, M. M. D.; RIZALDI, T.; SETYOHADI, D. P. S.; RISKIAWAN, H. Y. Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods (AHP, TOPSIS, SAW & PROMENTHEE) for Employee Placement. **The 2nd International Joint Conference on Science and Technology (IJCST)**, v. 953, n. 012116, 2017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012116>
- WILHITE, D. A. Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. In: Wilhite, D. A. (Ed.) **Drought: A global assessment**. London: Routledge, 2000a. p. 3-18.
- WILHITE, D. A. Drought Planning and Risk Assessment: Status and Future Directions. **Annals of Arid Zone**, v. 39, n. 3, p. 211-230, 2000b
- WU, D.; YAN, D. H.; YANG, G. Y.; WANG, X. G.; XIAO, W. H.; ZHANG, H. T. Assessment on agricultural drought vulnerability in the Yellow River basin based on a fuzzy clustering iterative model. **Natural Hazards**, v. 67, issue 2, p. 919-936, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0617-y>
- WU, Y.; BAKE, B.; ZHANG, J.; RASULOV, H. Spatio-temporal patterns of drought in North Xinjiang, China, 1961–2012 based on meteorological drought index. **Journal of Arid Land**, v. 7, n. 4, p. 527-543, 2015. <https://doi.org/10.1007/s40333-015-0125-x>
- WU, J. S.; LIN, X.; WANG, M. J.; PENG, J.; TU, Y. J. Assessing Agricultural Drought Vulnerability by a VSD Model: A Case Study in Yunnan Province, China. **Sustainability**, v. 9, n. 6, p. 918, 2017. <https://doi.org/10.3390/su9060918>
- XIAOQIAN, L.; YANGLIN, W.; JIAN, P.; BRAIMOH A. K.; HE, Y. Assessing Vulnerability to Drought Based on Exposure, Sensitivity and Adaptive Capacity: A Case Study in Middle Inner Mongolia of China. **Chinese Geographical Science**, v. 23, n. 1, p. 13-25, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11769-012-0583-4>
- YE, T.; SHI, P.; WANG, J.; LIU, L.; FAN, Y.; HU, J. China's drought disaster risk management: perspective of severe droughts in 2009-2010. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 3, n. 2, p. 84-97, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13753-012-0009-z>
- ZARAFSHANI, K.; SHARAFI, L.; AZADI, H.; HOSSEININIA, G.; DE MAEYER, P.; WITLOX, F. Drought vulnerability assessment: The case of wheat farmers in Western Iran. **Global and Planetary Change**, v. 98-99, p. 122-130, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.08.012>
- ZARAFSHANI, K.; MALEKI, T.; KESHAVARZ, M. Assessing the vulnerability of farm families towards drought in Kermanshah province, Iran. **GeoJournal**, v. 85, p. 823-836, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10708-019-09994-0>
- ZERI, M.; ALVALÁ, R. S.; CARNEIRO, R.; CUNHA-ZERI, G.; COSTA, J.; SPATAFORA, L. R.; DOMINGOS, U.; VALL-LLOSSERA, M.; MARENGO, J. Tools for Communicating Agricultural Drought over the Brazilian Semiarid Using the Soil Moisture Index. **Water**, v. 10, n. 1421, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10101421>
- ZENG, Z.; WU, W.; LI, Z.; ZHOU, Y.; GUO, Y.; HUANG, H. Agricultural drought risk assessment in Southwest China. **Water (Switzerland)**, v. 11, issue 5, n. 1064, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11051064>
- ZHANG, D. D.; YAN, D. H.; LU, F.; WANG, Y. C.; FENG, J. Copula-based risk assessment of drought in Yunnan province, China. **Natural Hazards**, v. 75, n. 3, p. 2199-2220, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1419-6>
- ZHOU, G.Y.; PENG, C. H.; LI, Y. L.; LIU, S.; ZHANG, Q.; TANG, X.; LIU, J.; YAN, J.; ZHANG, D.; CHU, G. A climate change-induced threat to the ecological resilience of a subtropical monsoon evergreen broadleaved forest in south China. **Glob. Change Biol.**, v. 19, p. 1197–1210, 2013a. <https://doi.org/10.1111/gcb.12128>

ZHOU, L.; WU, J.; ZHANG, J.; LENG, S.; LIU, M.; ZHAO, L.; ZHANG, F.; SHI, Y. The integrated surface drought index (ISDI) as an indicator for agricultural drought monitoring: theory, validation, and application in Mid-Eastern China. **IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.**, v. 6, p. 1254–1262, 2013b. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2013.2248077>

8. Apêndice A

Questionário de Ameaça

  DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL

Assessment of Drought Indicators

INFORMED CONSENT FORM (ICF)

This term aims to present the research for which you have been invited to participate, as well as to guarantee your authorization to follow on.

Procedure:
This questionnaire is part of a PhD survey of the Department of Industrial Engineering (DEI) of the Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), developed in HANDS (Humanitarian Assistance and Needs for Disasters), which is the DEI laboratory for research related to humanitarian logistics and management of disaster operations.
The research is intended to evaluate indicators related to drought from the perspective of experts.

Direct and indirect benefits:
The research contributes to the academic literature by comparing indicators related to drought. The result of this research will be calculated through the Analytic Hierarchy Process (AHP).

Risk or discomfort:
This study has minimal risks for its participants. However, if at any time you feel uncomfortable, you can request the closure of the records as well as give up participating in the survey.

Search confidentiality:
The results of this research will appear in a doctoral qualification paper and, later, in the doctoral dissertation, whose final version will be available on the PUC-Rio website. The results can also be published in journal and conference papers derived from the thesis. The database will be archived and maintained in absolute secrecy. All information obtained will be used for scientific research and in some cases person names can appear in publications.

Consent:
By completing this online questionnaire you indicate that you are voluntarily participating in the research and agree to this consent form.

1. Consent to participate in research
 I have read and agree to the terms of this survey.

2. In which institution do you study / work?

3. What is your function in this institution?

4. How long have you worked with drought?

5. What methods do you know for drought risk assessment?




DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA INDUSTRIAL

Assessment of Drought Indicators

QUESTIONNAIRE

These are the indicators related to drought:

- Precipitation (mm)
- Mean Temperature (°C)
- Mean Wind Speed (mps)
- Mean Maximum Temperature (°C)
- Mean Minimum Temperature (°C)
- Potential Evapotranspiration (mm)
- Sunshine Duration (hours)
- Mean Relative Humidity (%)

Each next question will be a comparison between these indicators and you should answer by dragging the slider towards to the most relevant indicator in the context of monitoring and assessing the risk of droughts.

6. What is more relevant: Precipitation or Mean Temperature?

Precipitation
(equal)
Mean Temperature

7. What is more relevant: Precipitation or Mean Wind Speed?

Precipitation
(equal)
Mean Wind Speed

8. What is more relevant: Precipitation or Mean Maximum Temperature?

Precipitation
(equal)
Mean Maximum Temperature

9. What is more relevant: Precipitation or Mean Minimum Temperature?

Precipitation
(equal)
Mean Minimum Temperature

10. What is more relevant: Precipitation or Potential Evapotranspiration?

Precipitation
(equal)
Potential Evapotranspiration

11. What is more relevant: Precipitation or Sunshine Duration?

Precipitation
(equal)
Sunshine Duration

12. What is more relevant: Precipitation or Mean Relative Umidity?

Precipitation
(equal)
Mean Relative Umidity

13. What is more relevant: Mean Temperature or Mean Wind Speed?

Mean Temperature
(equal)
Mean Wind Speed

14. What is more relevant: Mean Temperature or Mean Maximum Temperature?

Mean Temperature
(equal)
Mean Maximum Temperature

15. What is more relevant: Mean Temperature or Mean Minimum Temperature?

Mean Temperature
(equal)
Mean Minimum Temperature

16. What is more relevant: Mean Temperature or Potential Evapotranspiration?

Mean Temperature
(equal)
Potential Evapotranspiration

17. What is more relevant: Mean Temperature or Sunshine Duration?

Mean Temperature
(equal)
Sunshine Duration

18. What is more relevant: Mean Temperature or Mean Relative Humidity?

Mean Temperature (equal) Mean Relative Humidity

19. What is more relevant: Mean Wind Speed or Mean Maximum Temperature?

Mean Wind Speed (equal) Mean Maximum Temperature

20. What is more relevant: Mean Wind Speed or Mean Minimum Temperature?

Mean Wind Speed (equal) Mean Minimum Temperature

21. What is more relevant: Mean Wind Speed or Potential Evapotranspiration?

Mean Wind Speed (equal) Potential Evapotranspiration

22. What is more relevant: Mean Wind Speed or Sunshine Duration?

Mean Wind Speed (equal) Sunshine Duration

23. What is more relevant: Mean Wind Speed or Mean Relative Humidity?

Mean Wind Speed (equal) Mean Relative Humidity

24. What is more relevant: Mean Maximum Temperature or Mean Minimum Temperature?

Mean Maximum Temperature (equal) Mean Minimum Temperature

25. What is more relevant: Mean Maximum Temperature or Potential Evapotranspiration?

Mean Maximum Temperature (equal) Potential Evapotranspiration

26. What is more relevant: Mean Maximum Temperature or Sunshine Duration?

Mean Maximum Temperature (equal) Sunshine Duration

27. What is more relevant: Mean Maximum Temperature or Mean Relative Humidity?

Mean Maximum Temperature (equal) Mean Relative Humidity

28. What is more relevant: Mean Minimum Temperature or Potential Evapotranspiration?

Mean Minimum Temperature (equal) Potential Evapotranspiration

29. What is more relevant: Mean Minimum Temperature or Sunshine Duration?

Mean Minimum Temperature (equal) Sunshine Duration

30. What is more relevant: Mean Minimum Temperature or Mean Relative Humidity?

Mean Minimum Temperature (equal) Mean Relative Humidity

31. What is more relevant: Sunshine Duration or Mean Relative Humidity?

Sunshine Duration (equal) Mean Relative Humidity

Questionário de Vulnerabilidade




DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA INDUSTRIAL

Vulnerability Indicators

INFORMED CONSENT FORM (ICF)

This term aims to present the research for which you have been invited to participate, as well as to guarantee your authorization to follow on.

Procedure:
 This questionnaire is part of a PhD survey of the Department of Industrial Engineering (DEI) of the Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), developed in HANDS (Humanitarian Assistance and Needs for Disasters), which is the DEI laboratory for research related to humanitarian logistics and management of disaster operations.
 The research is intended to evaluate indicators related to drought vulnerability from the perspective of experts.

Direct and indirect benefits:
 The research contributes to the academic literature by comparing indicators related to drought. The result of this research will be calculated through the Analytic Hierarchy Process (AHP).

Risk or discomfort:
 This study has minimal risks for its participants. However, if at any time you feel uncomfortable, you can request the closure of the records as well as give up participating in the survey.

Search confidentiality:
 The results of this research will appear in a doctoral qualification paper and, later, in the doctoral dissertation, whose final version will be available on the PUC-Rio website. The results can also be published in journal and conference papers derived from the thesis. The database will be archived and maintained in absolute secrecy. All information obtained will be used for scientific research and in some cases person names can appear in publications.

Consent:
 By completing this online questionnaire you indicate that you are voluntarily participating in the research and agree to this consent form.

1. Consent to participate in research

I have read and agree to the terms of this survey.

2. In which institution do you study / work?

3. What is your function in this institution?

4. How long have you researched about drought?

5. What methods do you know for drought vulnerability assessment?

6. Do you know any drought vulnerability index developed in Brazil?

Yes

No

If yes, how does it work?




DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA INDUSTRIAL

Vulnerability Indicators

QUESTIONNAIRE

According to Tánago et al. (2016), the drought vulnerability indicators can be classified into dimensions and subdimensions, such as:

Biophysical Dimension
Subdimensions:
Soil
Water Resource

Socioeconomic Dimension
Subdimensions:
Water uses
Land use
Sociocultural
Economic and Financial Resources
Institutional, policy and governance
Technical, technological and infrastructural

Here we have some examples of indicators of each subdimension:
Soil: Forest Vegetation Coverage (%)
Water Resource: Sewage Collection and Treatment Index (%)
Economic/Financial: Per Capta GDP (\$/person)
Institutional: Crop Insurance - Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)
Land Use: Ratio Crop/Planting Area (%)
Sociocultural: Population Density (inhabitants/km2)
Technical/Infrastructure: Agricultural machinery power per unit area (units/km2)
Water Uses: Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)

Each next question will be a comparison between these indicators and you should answer by dragging the slider towards to the most relevant indicator in the context of monitoring and assessing the risk of droughts.

7. What is more relevant: Forest Vegetation Coverage (%) or Sewage Collection and Treatment Index (%)?

Forest Vegetation Coverage (%)	(equal)	Sewage Collection and Treatment Index (%)
<input style="width: 100%;" type="range"/>		

8. What is more relevant: Forest Vegetation Coverage (%) or Per Capta GDP (\$/person)?

Forest Vegetation Coverage (%)	(equal)	Per Capta GDP (\$/person)
<input style="width: 100%;" type="range"/>		

9. What is more relevant: Forest Vegetation Coverage (%) or Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)?

Forest Vegetation Coverage (%)	(equal)	Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)
<input style="width: 100%;" type="range"/>		

10. What is more relevant: Forest Vegetation Coverage (%) or Crop/Planting Area Ratio (%)?

Forest Vegetation Coverage (%)	(equal)	Crop/Planting Area Ratio (%)
<input style="width: 100%;" type="range"/>		

11. What is more relevant: Forest Vegetation Coverage (%) or Population Density (inhabitants/km2)?

Forest Vegetation Coverage (%)	(equal)	Population Density (inhabitants/km2)
<input style="width: 100%;" type="range"/>		

12. What is more relevant: Forest Vegetation Coverage (%) or Agricultural machinery power per unit area (units/km2)?

Forest Vegetation Coverage (%)	(equal)	Agricultural machinery power per unit area (units/km2)
<input style="width: 100%;" type="range"/>		

13. What is more relevant: Forest Vegetation Coverage (%) or Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)?

Forest Vegetation Coverage (%)	(equal)	Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)
<input style="width: 100%;" type="range"/>		

14. What is more relevant: Sewage Collection and Treatment Index (%) or Per Capta GDP (\$/person)?

Sewage Collection and Treatment Index (%) (equal) Per Capta GDP (\$/person)

15. What is more relevant: Sewage Collection and Treatment Index (%) or Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)?

Sewage Collection and Treatment Index (%) (equal) Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)

16. What is more relevant: Sewage Collection and Treatment Index (%) or Crop/Planting Area Ratio (%)?

Sewage Collection and Treatment Index (%) (equal) Crop/Planting Area Ratio (%)

17. What is more relevant: Sewage Collection and Treatment Index (%) or Population Density (inhabitants/km2)?

Sewage Collection and Treatment Index (%) (equal) Population Density (inhabitants/km2)

18. What is more relevant: Sewage Collection and Treatment Index (%) or Agricultural machinery power per unit area (units/km2)?

Sewage Collection and Treatment Index (%) (equal) Agricultural machinery power per unit area (units/km2)

19. What is more relevant: Sewage Collection and Treatment Index (%) or Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)?

Sewage Collection and Treatment Index (%) (equal) Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)

20. What is more relevant: Per Capta GDP (\$/person) or Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)?

Per Capta GDP (\$/person) (equal) Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)

21. What is more relevant: Per Capta GDP (\$/person) or Crop/Planting Area Ratio (%)?

Per Capta GDP (\$/person) (equal) Crop/Planting Area Ratio (%)

22. What is more relevant: Per Capta GDP (\$/person) or Population Density (inhabitants/km2)?

Per Capta GDP (\$/person) (equal) Population Density (inhabitants/km2)

23. What is more relevant: Per Capta GDP (\$/person) or Agricultural machinery power per unit area (units/km2)?

Per Capta GDP (\$/person) (equal) Agricultural machinery power per unit area (units/km2)

24. What is more relevant: Per Capta GDP (\$/person) or Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)?

Per Capta GDP (\$/person) (equal) Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)

25. What is more relevant: Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%) or Crop/Planting Area Ratio (%)?

Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%) (equal) Crop/Planting Area Ratio (%)

26. What is more relevant: Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%) or Population Density (inhabitants/km2)?

Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)	(equal)	Population Density (inhabitants/km2)
<input type="radio"/> _____		

27. What is more relevant: Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%) or Agricultural machinery power per unit area (units/km2)?

Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)	(equal)	Agricultural machinery power per unit area (units/km2)
<input type="radio"/> _____		

28. What is more relevant: Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%) or Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)?

Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)	(equal)	Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)
<input type="radio"/> _____		

29. What is more relevant: Crop/Planting Area Ratio (%) or Population Density (inhabitants/km2)?

Crop/Planting Area Ratio (%)	(equal)	Population Density (inhabitants/km2)
<input type="radio"/> _____		

30. What is more relevant: Crop/Planting Area Ratio (%) or Agricultural machinery power per unit area (units/km2)?

Crop/Planting Area Ratio (%)	(equal)	Agricultural machinery power per unit area (units/km2)
<input type="radio"/> _____		

31. What is more relevant: Crop/Planting Area Ratio (%) or Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)?

Crop/Planting Area Ratio (%)	(equal)	Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)
<input type="radio"/> _____		

32. What is more relevant: Population Density (inhabitants/km2) or Agricultural machinery power per unit area (units/km2)?

Population Density (inhabitants/km2)	(equal)	Agricultural machinery power per unit area (units/km2)
<input type="radio"/> _____		

33. What is more relevant: Population Density (inhabitants/km2) or Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)?

Population Density (inhabitants/km2)	(equal)	Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)
<input type="radio"/> _____		

34. What is more relevant: Agricultural machinery power per unit area (units/km2) or Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)?

Agricultural machinery power per unit area (units/km2)	(equal)	Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)
<input type="radio"/> _____		

Vulnerability Indicators

CLASSIFICATION

The previous indicators can be classified, according to drought vulnerability, in Exposure, Sensitivity or Adaptive Capacity.

According to Xiaoqian et al. (2013), Exposure measures the extent, duration or frequency of a stress on a system; Sensitivity is the degree to which a system is affected by a stress or perturbation, either positively or negatively; and Adaptive capacity is the ability of system to cope with actual or expected stress, including the ability of the system to initiate measures to prevent future damage and/or to extend the range of conditions to which it is adapted.

35. How do you classify each one of these indicators?

	Exposure	Sensitivity	Adaptive Capacity	Don't Know
Forest Vegetation Coverage (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sewage Collection and Treatment Index (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Per Capta GDP (\$/person)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Crop/Planting Area Ratio (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Population Density (inhabitants/km ²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Agricultural machinery power per unit area (units/km ²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vulnerability Indicators

WEIGHTS

In a systematic literature review about vulnerability of drought, we found that the frequency (weight) of the previous indicators were:

Indicator	Weight
Population Density (inhabitants/km ²)	18.8%
Forest Vegetation Coverage (%)	15.6%
Crop/Planting Area Ratio (%)	15.6%
Per Capta GDP (\$/person)	12.5%
Agricultural machinery power per unit area (units/km ²)	12.5%
Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)	12.5%
Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)	6.3%
Sewage Collection and Treatment Index (%)	6.3%

36. Do you agree with these weights?

- Yes
 No

37. What weight do you suggest for each indicator (all together should add up to 100%)?

Population Density (inhabitants/km²)	<input type="text"/>
Forest Vegetation Coverage (%)	<input type="text"/>
Crop/Planting Area Ratio (%)	<input type="text"/>
Per Capta GDP (\$/person)	<input type="text"/>
Agricultural machinery power per unit area (units/km²)	<input type="text"/>
Percentage of water withdrawn from the environment (for irrigation) that is consumed (%)	<input type="text"/>
Beneficiaries of Crop Guarantee Program/Total Population Ratio (%)	<input type="text"/>
Sewage Collection and Treatment Index (%)	<input type="text"/>

  DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL

Vulnerability Indicators

THANK YOU!

Thank you so much for participating in this survey!

38. Would you like to receive the results of this survey by email?

Yes

No

What is your e-mail?

9. Apêndice B

Entrevistado A

Cargo: Extensionista

Município: Santa Cruz do Capibaribe

Data da Entrevista: 09/12 às 17h via WhatsApp

Duração da Entrevista: 35 minutos

P1: O município de Santa Cruz do Capibaribe em janeiro de 2019 apresentou um alerta do tipo A2, que significa que este município apresentou um nível ameaça fora do esperado. Depois este alerta se repetiu em outubro, novembro e dezembro de 2019. Você concorda com a geração destes alertas nestas datas? Acha que se as medidas fossem tomadas a partir de então, isso reduziria os riscos de danos à população?

R1: O ano de 2019 foi de muita chuva em poucos períodos e, por outro lado, muito tempo sem chuva, o que afetou a plantação de milho e fez com que muitos agricultores perdessem suas safras. O alerta poderia ajudar os agricultores a planejarem e anteciparem seus plantios, por exemplo, pois muitas vezes eles começam a plantar antes ou depois do período certo.

P2: Em março de 2020, o governo decretou situação de emergência para este município. Você concorda com este decreto?

R2: Esse decreto acontece mais para poder ter a distribuição de água via operação carro pipa. Acontece que essa operação já dura bastante tempo e continua mesmo em períodos de muita chuva, eu não sei por quê.

P3: Qual é o gatilho que dá início as ações de mitigação de risco? (redução nas chuvas, perda de gado, decreto de situação de emergência)

R3: Aqui no agreste, que tem características de sertão, quando tivemos a perda recente da palma tradicional (folha) por causa de praga, o governo distribuiu folha para municípios recuperarem o que foi perdido. Outro caso é em relação a perda de gado por falta de alimento, quando fica muito intenso, o governo traz cana de açúcar para a região para servir de alimento para os animais e assim evitar a perda de mais gado. Também são feitos alguns seminários para discutir ações sobre como conviver com a seca que são promovidos pela secretaria de agricultura e parceiros locais, para darem mais atenção para os locais mais vulneráveis. Nesses casos, eles tentam dar mais incentivo as produções que custam menos como, por exemplo, cultivo de galinhas. Ainda tem potencial para a caprinocultura de leite, de corte, que ainda não é tão explorado. Com isso, a região de Garanhuns, no agreste meridional, já consegue estocar alimentos para o período de seca (faz a silagem de capim, estoque de milho, de mandioca). Aqui a população ainda não faz isso porque tem outra fonte de renda como, por exemplo, as confecções.

P4: Qual é o protocolo para ações de mitigação de risco nos casos de aumento de ameaça (ou vulnerabilidade)?

R4: Não tem um protocolo. Foi aprovada uma lei, que eu não sei qual é, para auxiliar isso aí, mas eu não sei qual é não.

P5: Quais as medidas de mitigação de risco de seca foram adotadas neste caso específico? O protocolo foi cumprido? Se não, por quê?

R5: Distribuição de folha de palma e cana de açúcar para os agricultores.

P6: Quando as medidas abaixo são adotadas? E qual é o órgão responsável?

a) Programa Cisternas

R6a: Ocorre esporadicamente. Há 2 anos atrás fizeram 250 cisternas de 16 mil litros, mas não tem nenhuma de 52 mil litros ainda, que é para produção. O responsável é o PRORURAL e o DNOCS.

b) Perfuração de Poços

R6b: Já fizeram na cidade e na zona rural, mas a dificuldade é que a água é salobra, poucos poços dão água boa.

- c) Construção de barragens, aquedutos e estações de bombeamento

R6c: Não

- d) Instalação de poços profundos de grandes fluxos em bacias sedimentares

R6d: A água é salobra.

- e) Operação Carro Pipa

R6e: Ocorre apenas quando tem decreto, mas na prática tem ocorrido quase o ano todo mesmo quando chove.

- f) Programa Garantia Safra

R6f: Funciona desde 2013 direto e é muito bom para a população. É feito pela secretaria de desenvolvimento agrário.

- g) Programa Bolsa Estiagem

R6g: Já ocorreu, mas não tem mais hoje em dia.

- h) Programa de Vendas em Balcão (ProVB) (ração animal a preços subsidiados)

R6h: Já ocorreu durante os 7 anos de seca mais severa, pela CONAB. O preço era muito bom, no mercado era de R\$ 25 o kg e no programa ficava R\$ 18,00 mas esse programa não vale mais a pena porque hoje no mercado tá R\$ 85,00 o kg e no programa tá R\$ 74,00.

- i) Expansão das linhas de crédito de emergência para agricultores, comerciantes e setores da indústria / Renegociação da dívida dos agricultores

R6i: Os agricultores têm o crédito pelo Banco do Nordeste (programa PRONAF-B para até R\$ 5.000,00 e outros programas para mais de R\$ 5.000,00). Com este valor eles conseguem comprar ração para o gado, construir mais cercas, além de terem valores de juros bem interessantes.

Entrevistado B

Cargo: Supervisor Regional

Município: Casinhas

Data da Entrevista: 10/12 às 16h via Google Meet

Duração da Entrevista: 50 minutos

P1: O município de Casinhas em janeiro de 2019 apresentou um alerta do tipo A3, que significa que este município apresentou um nível ameaça e vulnerabilidade fora do esperado. Depois este alerta se repetiu em novembro e dezembro de 2019. Você concorda com a geração destes alertas nestas datas? Acha que se as medidas fossem tomadas a partir de então, isso reduziria os riscos de danos à população?

R1: Concordo sim, essa região tem uma irregularidade pluviométrica bem grande. Ano passado até passamos a fazer parte do Garantia Safra, que só faz parte quem tem perda de 50% da produção. Tivemos 7 anos consecutivos de perda de safra e mesmo com a melhora em 2019 e 2020, ainda é insuficiente para alguns municípios sobreviverem.

P2: Em março de 2020, o governo decretou situação de emergência para este município. Você concorda com este decreto?

R2: Eu acredito que, como a seca já vem há 7 anos, a operação carro pipa continua. É preciso cerca de 600mm para a plantação vingar e ainda não está sendo alcançado esse valor mesmo com a melhora da seca. Então, por isso, continua a operação carro pipa.

P3: Qual é o gatilho que dá início as ações de mitigação de risco (redução nas chuvas, perda de gado, decreto de situação de emergência)?

R3: Chuva é o principal fator e o segundo é a perda da safra. Porque mesmo que chova menos do que o necessário ou então de forma pouco constante, ainda é insuficiente para dar conta para a agricultura.

Esses são os fatores, a chuva a gente acompanha pelo IPA diariamente mas a perda de safra a gente acaba só vendo depois, quando o gado já morreu.

P4: Qual é o protocolo para ações de mitigação de risco nos casos de aumento de ameaça (ou vulnerabilidade)?

R4: Tem um protocolo sim. Quando a chuva fica muito abaixo, o IPA comunica o governo que aciona o carro pipa. Também foi feita uma operação de semente precoce durante esses 7 anos de seca severa, desenvolvido pelo EMBRAPA. Essa semente vinga mesmo com pouca água. Nós ficamos 2 anos sem água encanada em casa. Aí o governo entregou a água com o carro pipa (através do IPA e do Exército) e mesmo assim não deu conta. Só abasteceram a zona rural, faltou água na área urbana. Aí depois de 2 anos é que chegou a água para a região urbana. Aí as sementes ajudaram bastante os agricultores familiares.
Jucazinho voltou a pegar água da barragem.

P5: Quais as medidas de mitigação de risco de seca foram adotadas neste caso específico? O protocolo foi cumprido? Se não, por quê?

R5: Operação carro pipa e distribuição de semente precoce. Também teve a distribuição de folhas de palmas que é rica em água, para dar aos animais, no período de seca. E tivemos a distribuição (doação) de semente de sorgo que precisa de menos água para vingar e ter o mesmo rendimento.

P6: Quando as medidas abaixo são adotadas? E qual é o órgão responsável?

a) Programa Cisternas

R6a: Foi implementado não só em Casinhas mas também em outras regiões através da construção de cisterna de placa de 16mil litros e a de 52mil litros, tem sim. Aqui na região foram ONGs que executaram, acompanhadas dos Conselho Municipal de Desenvolvimento Rural Sustentável (CMDRS) dos municípios, não sei te informar a fonte de recursos

b) Perfuração de Poços

R6b: (respondido junto com o item c)

c) Construção de barragens, aquedutos e estações de bombeamento

R6c: Isso é um problema. A barragem de Jucazinho só abastece a cidade e não a zona rural. A zona rural acaba sendo abastecida por poços particulares. Os órgãos governamentais e o IPA já furaram vários poços mas eles só trabalham com associação, ou seja, eles solicitam a perfuração e o estado faz um estudo para ver se dá pra construir. Para furar um poço legalizado, com toda a documentação legal, é muito difícil por causa da burocracia. Aqui na região, pela chuva, para você conseguir juntar água num açude, barreira ou barragem, precisa de precipitação pluviométrica de 100mm mas aqui só tem dado de 10mm a 50mm e isso não enche um açude.

A falta de água é tamanha que as abelhas estão sumindo. Para esfriar as colméias, ela precisa de água, mas a água não tem na região então elas estão migrando... Estão saindo da região. Os rios estão secando, é por isso.

Aqui na região quem mais perfurou poços foi o IPA, órgão do Governo Estadual. E muitos poços particulares! Aqui na região tem uma barragem por nome Jucazinho, que abastece a região, é gerida pela COMPESA, órgão que gerencia o abastecimento de água no Estado.

d) Instalação de poços profundos de grandes fluxos em bacias sedimentares?

R6d: Não. Em nossa região não dispomos de poços profundos com grandes fluxos. O que temos são poços de até 50 metros de profundidade.

e) Operação Carro Pipa

R6e: A gestão municipal da operação Carro Pipa funciona o ano todo, já a gestão do exército só funciona quando tem necessidade. Nem todas as casas têm cisterna, ainda não é 100% da população que tem. Então o exército prioriza onde está com necessidade. Os responsáveis são o exército, CODECIPE, COMPESA, prefeituras e muitos carros particulares.

f) Programa Garantia Safra

R6f: Funciona, mas é muito dependente dos governos municipais. É gerado uma cota de adesão, mas quem de fato gerencia as cotas é o governo municipal. E o município só paga quanto tem. Então não abrange todo mundo. As cotas são maiores no agreste. Os envolvidos são o Governo Federal, Governo Estadual,

Governo Municipal e o Agricultor, que financiam o programa. Todos pagam uma cota.

g) Programa Bolsa Estiagem

R6g: Não temos por que aqui só tem o Garantia Safra.

h) Programa de Vendas em Balcão (ProVB) (ração animal a preços subsidiados)

R6h: Tem aqui sim, mas é via CONAB. Você se identifica como agricultor familiar e aí tem um protocolo para você comprar sim.

i) Expansão das linhas de crédito de emergência para agricultores, comerciantes e setores da indústria / Renegociação da dívida dos agricultores

R6i: Tem sim, bastante. O PRONAF abrange várias linhas de crédito, tem o PRONAF-B, o PRONAF-A e ainda outros. Nos projetos de assentamento eles tem direito ao PRONAFB, que tem o microcrédito de até R\$ 5.000,00 por família. Aqui é o PRONAF-B que é mais utilizado. Além do Banco do Nordeste, o Banco do Brasil também tem essas linhas.

Observações Gerais:

- Na minha opinião, o problema desses programas é que os programas não atendem a todos, só contempla uma parte da população que se enquadra nesses programas. O agricultor as vezes não tem propriedade própria, só trabalha em terra de terceiros. Só quem possui terras é que beneficiado. Quem trabalha na terra de terceiros quase não é beneficiado. Os trabalhadores rurais não têm terras e não são beneficiados. Muitas vezes eles se juntam, encontram um latifundiário que queira vender, e vão comprar. Aí o Banco do Nordeste entra com uma parte, o governo com outra parte. Não pode mais ter invasão de terras, então agora está difícil dos trabalhadores terem terra.
- Veja o ZARC é um APP da EMBRAPA que trata de zoneamento de tudo, até caju, e as épocas que precisam ser plantadas para melhorar o rendimento da produção. Isso pode ser bom!

Entrevistado C

Cargo: Extensionista

Município: Cachoeirinha

Data da Entrevista: 15/12 às 16h via Google Meet

Duração da Entrevista: 25 minutos

P1: O município de Casinhas de janeiro à maio, setembro e outubro de 2019 apresentou um alerta do tipo A2, que significa que este município apresentou um nível de vulnerabilidade fora do esperado. Em seguida, em novembro e dezembro de 2019, o alerta passou a ser do tipo A3, que significa que este município apresentou um nível de vulnerabilidade e ameaça foram do esperado. Você concorda com a geração destes alertas nestas datas? Acha que se as medidas fossem tomadas a partir de então, isso reduziria os riscos de danos à população?

R1: Concordo sim. Nós estamos vindo de um período de estiagem prolongado. Em 2019 esperava-se melhorar o volume de chuvas, mas embora tenha melhorado, não foi suficiente. A chuva não ocorreu nas regiões que precisava de água. Por isso, nós pedimos o decreto junto ao governo do estado pois na região da Conceição e Ouricuri, que são as regiões mais pobres, não choveu.

P2: Em março de 2020, o governo decretou situação de emergência para este município. Você concorda com este decreto?

R2: Eu faço parte do Conselho de Desenvolvimento Rural Sustentável de Cachoeirinha. No conselho, além do IPA, tem também as associações, as secretarias, vereadores além de membros da sociedade civil e a igreja. Nós é que pedimos o decreto de situação de emergência pois percebemos durante a reunião que a situação não estava boa e deveríamos dar esse passo.

P3: Qual é o gatilho que dá início as ações de mitigação de risco (redução nas chuvas, perda de gado, decreto de situação de emergência)?

R3: A gente tenta agir preventivamente, mas municípios e estados precisam de dados para isso. Então nem sempre é possível. Nesse caso de 2019, já fazia 6 anos

sem chuvas torrenciais entre dezembro e janeiro e tinha previsão de que ocorresse. Nós ficamos esperando. Como não ocorreu, aí pedimos o decreto de situação de emergência pra poder começar a distribuição de água pelo carro pipa. Nós também acompanhamos o preço dos animais na feira, da safra, o preço da ração...para ver se tem variação. Quando o preço dispara, significa que o pasto acabou e o pessoal começa a procurar os armazéns. Os preços atualmente estão subindo muito, principalmente do milho. O município próximo daqui já começou a ter que descartar animais porque não tem como comprar ração.

P4: Qual é o protocolo para ações de mitigação de risco nos casos de aumento de ameaça (ou vulnerabilidade)?

R4: O protocolo é informar as nossas gerências e solicitar o mais breve possível a contratação de carros pipa. Em relação ao garantia safra, nós fazemos a solicitação de uma cota maior. Nós fazemos a nossa parte, mas nem tudo depende da gente. Carro pipa agora só tem do exército e mesmo assim são só 6, ainda precisaríamos de mais 10. Se o estado vai ou não contratar aí já não depende da gente. A gente só informa.

P5: Quais as medidas de mitigação de risco de seca foram adotadas neste caso específico? O protocolo foi cumprido? Se não, por quê?

R5: Aumento da cota do garantia safra e solicitação do carro pipa. Em forma de palestras a gente conscientiza a população em relação ao armazenamento dos animais. Nós vamos nas comunidades falando. Em junho e julho já começamos a falar do plantio das palmas para alimentar o gado e fazer a reposição de água para o gado não precisar beber tanta água.

P6: Quando as medidas abaixo são adotadas? E qual é o órgão responsável?

a) Programa Cisternas

R6a: Tem a construção de cisternas mas vem por etapas. Na verdade, a gente faz parte desse conselho onde fazemos a distribuição das cisternas quando chegam. Quem fazia a distribuição era o órgão Pró Rural e a primeira etapa foi da “cisterna

primeira água”, de 16 mil litros, para o consumo próprio. A outra etapa foi de 10 cisternas de 52 mil litros, para ajudar na produção. Depois teve outra etapa de “primeira água”, de plástico, da DENOCS. Não foi bom porque a cisterna de alvenaria, o pedreiro é contratado pra fazer, então gera emprego local. A de plástico da DENOCS, eles só vem e instalam, aí não gera emprego. Hoje tem 450 famílias sem a cisterna “primeira água”. Porém, veio cisterna pra todo mundo mas nem todo mundo pode instalar porque na escritura a propriedade está num município e na conta de luz em outro município. Aí essas pessoas não foram atendidas por essa questão legal de município. Em 2019 tivemos uma reunião, informamos isso, através de um ofício do IPA, ofício do conselho, ofício do sindicato, da secretaria e etc. porque em Caruaru sobrou 1.100 cisternas aí nós solicitamos essa remanejamento, mas até agora nada.

O Ministério da Cidadania é o responsável pelo dinheiro, mas em Pernambuco quem coordenou foi o DNOCS junto com os conselhos de desenvolvimento rurais, IPA e a CÁRITAS - fundação ligada à igreja católica - junto com o PRORURAL.

b) Perfuração de Poços

R6b: Já ocorreu uma grande demanda, mas 95% dos poços dá alta salinidade.

O Ministério do Desenvolvimento Regional é o responsável pelo dinheiro, mas a perfuração é coordenada pelo DNOCS, IPA ou pelo PRORURAL. Acho que o dinheiro vem do próprio Estado ou do banco mundial.

c) Construção de barragens, aquedutos e estações de bombeamento

R6c: Solicitamos barragens, mas as do governo do estado são pequenas. Já conseguimos duas, mas fazem só o “meio-termo”, não ajuda tanto assim.

Eu só sei informar os responsáveis das que são construídas pelo IPA, o dinheiro é do estado ou do banco mundial e é executado é pelo PRORURAL.

d) Instalação de poços profundos de grandes fluxos em bacias sedimentares?

R6d: O governo só consegue perfurar até 60m de profundidade, mas aí não funciona pra gente porque tem a rocha de sal. Pra gente, teria que ser a de mais de 200m mas o governo diz que não faz e dá explicação “furada”.

Não sei informar o órgão responsável.

e) Operação Carro Pipa

R6e: Aqui ocorre o ano interno.

O Ministério do Desenvolvimento Regional e Ministério da Defesa é de onde vem o dinheiro, mas é coordenado pelo exército no caso dos recursos federais e pelo IPA quando é realizado com o dinheiro do Estado.

f) Programa Garantia Safra

R6f: Temos acesso todos os anos para a população.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento é responsável pela coordenação nacional do fundo pois todos os envolvidos pagam sua parte para a formação do fundo. O governo federal entra com a maior parte, mas estados, municípios e o próprio agricultor pagam uma parte.

g) Programa Bolsa Estiagem

R6g: Só tivemos duas vezes e depois parou.

O Ministério da Cidadania é o responsável, mas só teve uma/duas vez(es). O dinheiro foi depositado direto no cartão bolsa família.

h) Programa de Vendas em Balcão (ProVB) (ração animal a preços subsidiados)

R6h: A gente conseguiu uma vez só, mas a venda é feita pela CONAB (Federal). A gente cadastrava os agricultores, gerava um boleto, eles pagavam e aí nos diziam a localidade mais próxima para o pessoal buscar o milho. Aconteceu que cadastramos 30 agricultores, eles fizeram o pagamento e demorou mais de 3 meses para conseguirem o milho. O preço era bom, pagava R\$ 20,00 na saca enquanto o preço do mercado era de R\$ 50,00 mas demorou muito pra ser entregue e só foi quando o pessoal falou com o governador.

i) Expansão das linhas de crédito de emergência para agricultores, comerciantes e setores da indústria / Renegociação da dívida dos agricultores

R6i: A população tem acesso a crédito pelo Banco do Nordeste ou Banco do Brasil sim. Eles fazem o PRONAF, o PRONAMPE e o FNE. A população pega crédito sim porque os juros são bons.

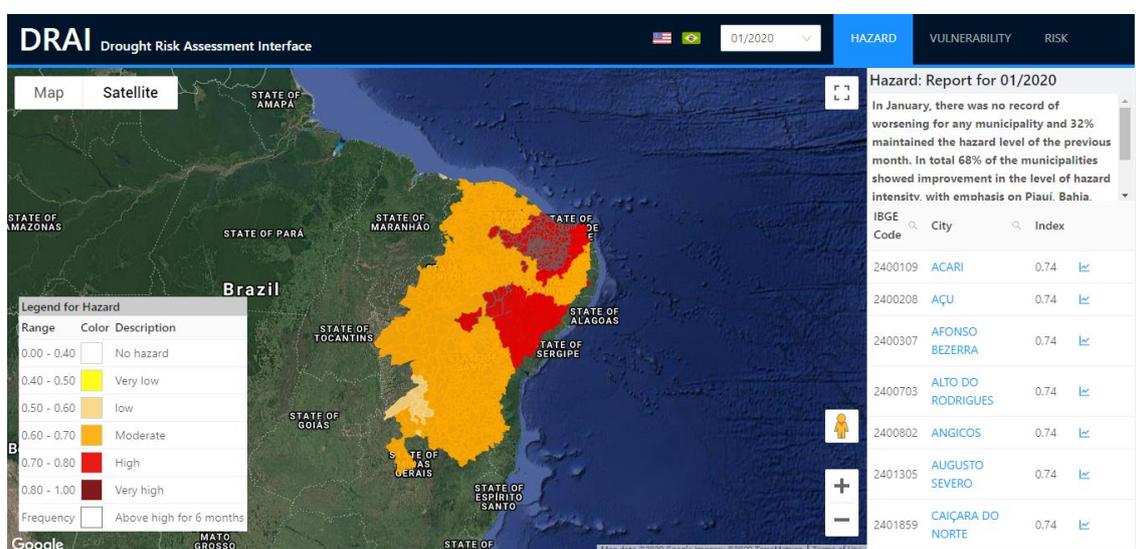
Observações Gerais:

Eu acho que são vários fatores que fazem os planos existirem mas não funcionarem. O primeiro é a burocracia. A gente teve carro pipa pelo IPA até 2014 só que esses carros pipas só eram contratados pelo IPA a pedido de políticos. O problema não é a ação em si, mas sim a interferência política no programa. O IPA conseguia fazer a operação carro pipa fiado mas o governo espera o dinheiro chegar, aí ferra tudo. O problema é que a burocracia causa muita demora e aí o problema vira uma bola de neve.

10. Apêndice C

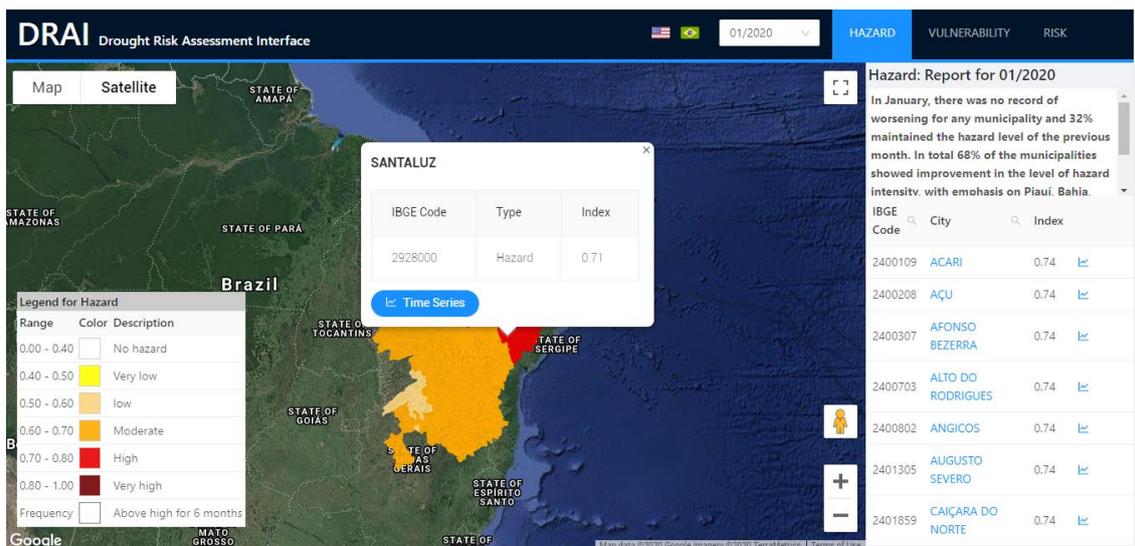
Este apêndice apresenta um guia prático de utilização do DRAI.

Vale destacar inicialmente que o input dos dados no DRAI é feito através do upload de uma planilha excel. A partir do upload das informações, o usuário visualiza o mapa do semiárido conforme apresentado abaixo.

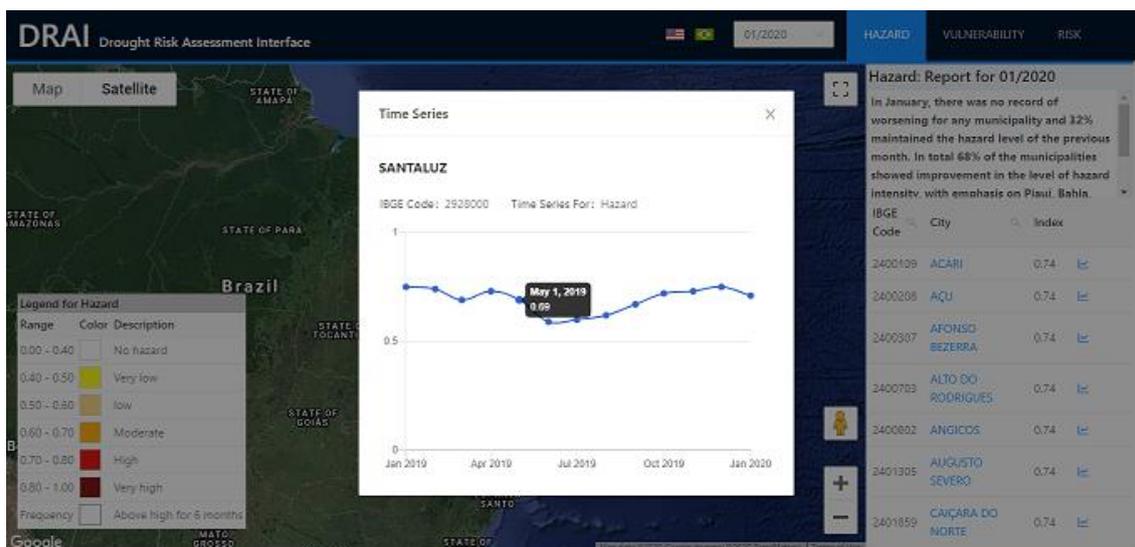


Neste mapa, é apresentado, para cada município, a intensidade do índice de ameaça de acordo com a cor da legenda do canto inferior da tela. Os municípios com borda preta são aqueles que apresentam o índice de ameaça alto ou muito alto nos últimos seis meses (referente a componente frequência da ameaça).

Ao clicar em um determinado município, o mapa será direcionado para aquele município e irá abrir uma janela com as informações como nome do município, código IBGE, tipo e valor do índice.



Ainda nesta tela, o usuário pode clicar no botão “Série Temporal” para visualizar a série temporal do índice, veja abaixo. Ao passar o mouse por cima de cada ponto do gráfico, o sistema exibe, em uma caixa preta, o valor da série naquele ponto.

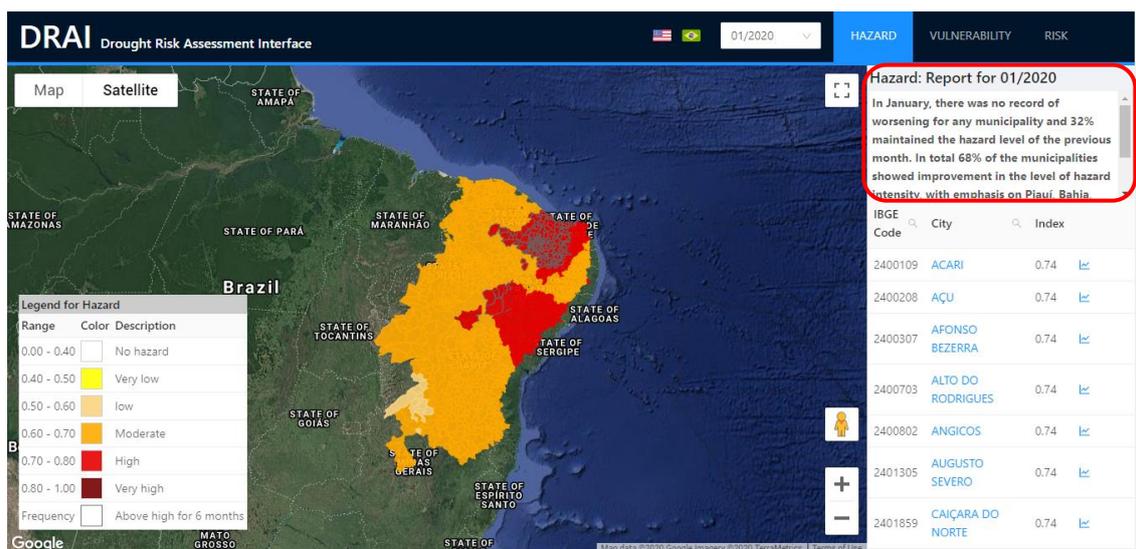


No canto superior da tela, existe uma caixa de seleção para o usuário selecionar o mês para o qual deseja ver o mapa bem como as abas de Ameaça, Vulnerabilidade e Risco para o tipo de índice exibido. O sistema também exibe as bandeiras referentes aos idiomas disponíveis.



Para o índice de vulnerabilidade, os mapas são sempre os mesmos para todos os meses de um mesmo ano já que este índice é atualizado anualmente.

Logo abaixo, existe o campo para o relatório, onde são apresentadas informações sobre o desempenho da região para aquele mês. Neste campo, são detalhados os municípios que apresentaram piora ou melhora no índice em relação ao mês anterior, no caso de ameaças e risco.



Ao lado do mapa, é apresentada uma tabela de dados com as seguintes informações: código IBGE, nome do município e índice - onde o usuário pode buscar especificamente por um município. Vale ressaltar que, se o usuário clicar no nome do município na tabela, em azul, o mapa irá direcionar o usuário para este município e abrir sua caixa de informações.

A Figura 14 (capítulo 6) apresenta a visualização para os alertas. O ícone de alerta também aparece na tabela de dados à direita e, ao clicar neste ícone (seja no mapa ou na tabela de dados), o usuário irá visualizar uma nova janela com a explicação do alerta gerado.