ANÁLISE DA RESILIÊNCIA E CAPACIDADE ADAPTATIVA ÀS SECAS NO SERTÃO DE ALAGOAS

Alysson Matheus Pimentel de Morais[1]; Jefferson Santos da Costa[2]; Eduarda Pinheiro Barbosa da Silva[3]; Bianca Maria Lima Cruz Pereira[4]; Geraldo Arthur Teodozio Boia[5]; Silmayko Gomes da Silva [6] & Manoel Mariano Neto[7]

RESUMO – Os eventos de seca no semiárido brasileiro intensificam impactos socioeconômicos e ambientais, exigindo o fortalecimento da resiliência e da capacidade adaptativa municipal. Neste contexto, o estudo analisou a resiliência e capacidade adaptativa frente às secas nos municípios do Sertão de Alagoas. Para tanto, foram utilizadas variáveis relacionadas à taxa de alfabetização, planos de contingência, convênios para assistência técnica, ações de mitigação e perdas de água nos sistemas de abastecimento. Posteriormente, os dados foram normalizados, integrados e espacialização foi realizada em ambiente SIG utilizando o software QGIS 3.34.3. Os resultados evidenciaram diferenças espaciais entre os municípios analisados. Mata Grande, Água Branca e Ouro Branco apresentaram os maiores níveis de resiliência, enquanto Palestina registrou o menor índice. Observou-se que fatores institucionais, ações preventivas e eficiência hídrica influenciaram diretamente a capacidade adaptativa municipal frente aos eventos de seca.

ABSTRACT– Drought events in the Brazilian semi-arid region intensify socioeconomic and environmental impacts, demanding the strengthening of municipal resilience and adaptive capacity. In this context, the study spatially analyzed the resilience and adaptive capacity in the face of droughts in the municipalities of the Sertão region of Alagoas. To this end, variables related to literacy rates, contingency plans, agreements for technical assistance, mitigation actions, and water losses in supply systems were used. Subsequently, the data were normalized, integrated, and spatially analyzed in a GIS environment using QGIS 3.34.3 software. The results showed spatial differences between the analyzed municipalities. Mata Grande, Água Branca, and Ouro Branco presented the highest levels of resilience, while Palestina registered the lowest index. It was observed that institutional factors, preventive actions, and water efficiency directly influenced the municipal adaptive capacity in the face of drought events.

Palavras-chave: Eventos climáticos; Semiárido; Geoprocessamento.

[1]) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil, e-mail: alysson.morais@ctec.ufal.br
[2]) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil, e-mail: jefferson.costa@ctec.ufal.br
[3]) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil, e-mail: eduarda.silva@delmiro.ufal.br
[4]) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil, e-mail: bianca.pereira@ceca.ufal.br
[5]) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil, e-mail: geraldo.arthur.boia@gmail.com
[6]) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil, e-mail: silmayko.silva@delmiro.ufal.br
[7]) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil, e-mail: manoel.mariano@ctec.ufal.br

INTRODUÇÃO

Os eventos de seca estão entre os desastres naturais de maior recorrência e impacto no semiárido brasileiro, provocando consequências ambientais, sociais e econômicas significativas. A escassez hídrica compromete a agricultura, a disponibilidade de água, a biodiversidade e as condições de subsistência da população, além de intensificar problemas relacionados à insegurança alimentar e à vulnerabilidade socioeconômica (Marengo et al., 2016).

As mudanças climáticas têm contribuído para o aumento da frequência e intensidade dos eventos extremos, tornando a seca um dos principais desafios para a gestão hídrica e territorial no Nordeste brasileiro. Além dos impactos ambientais, esses eventos comprometem atividades produtivas, reduzem a disponibilidade hídrica e ampliam os riscos sociais e econômicos das populações mais vulneráveis (Padrón-Monedero et al., 2024; Petkova et al., 2016).

Nesse contexto, estratégias voltadas ao fortalecimento da resiliência e da capacidade adaptativa tornam-se fundamentais para minimizar os impactos associados à seca. A resiliência corresponde à capacidade de um sistema ou comunidade resistir, adaptar-se e recuperar-se frente às adversidades (Adger, 2000), enquanto a capacidade adaptativa está relacionada à habilidade de desenvolver mecanismos eficientes de enfrentamento diante dos eventos extremos (IPCC, 2014).

A utilização de índices e indicadores permite avaliar espacialmente as condições de resposta municipal frente às secas, contribuindo para o planejamento territorial e a formulação de políticas públicas. Estudos recentes destacam a relevância de indicadores sociais, institucionais e relacionados à gestão hídrica para análise da resiliência em regiões suscetíveis à seca (Sass et al., 2024).

No estado de Alagoas, o Sertão apresenta elevada suscetibilidade aos eventos de seca devido às características climáticas e às desigualdades socioeconômicas e institucionais existentes entre os municípios. Apesar da recorrência desses eventos, ainda são limitados os estudos voltados à análise integrada da resiliência e capacidade adaptativa municipal na região. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo analisar espacialmente a resiliência e a capacidade adaptativa frente aos eventos de seca nos municípios do Sertão de Alagoas, utilizando indicadores socioeconômicos, institucionais e de gestão hídrica integrados.

METODOLOGIA

Área de Estudo

A área de estudo compreende os municípios inseridos na mesorregião do Sertão do estado de Alagoas, localizada na porção oeste do estado e inserida no domínio do semiárido brasileiro (Figura

1). A região caracteriza-se pelo clima semiárido, marcado pela irregularidade espacial e temporal das precipitações, elevadas temperaturas e recorrência de eventos de seca.

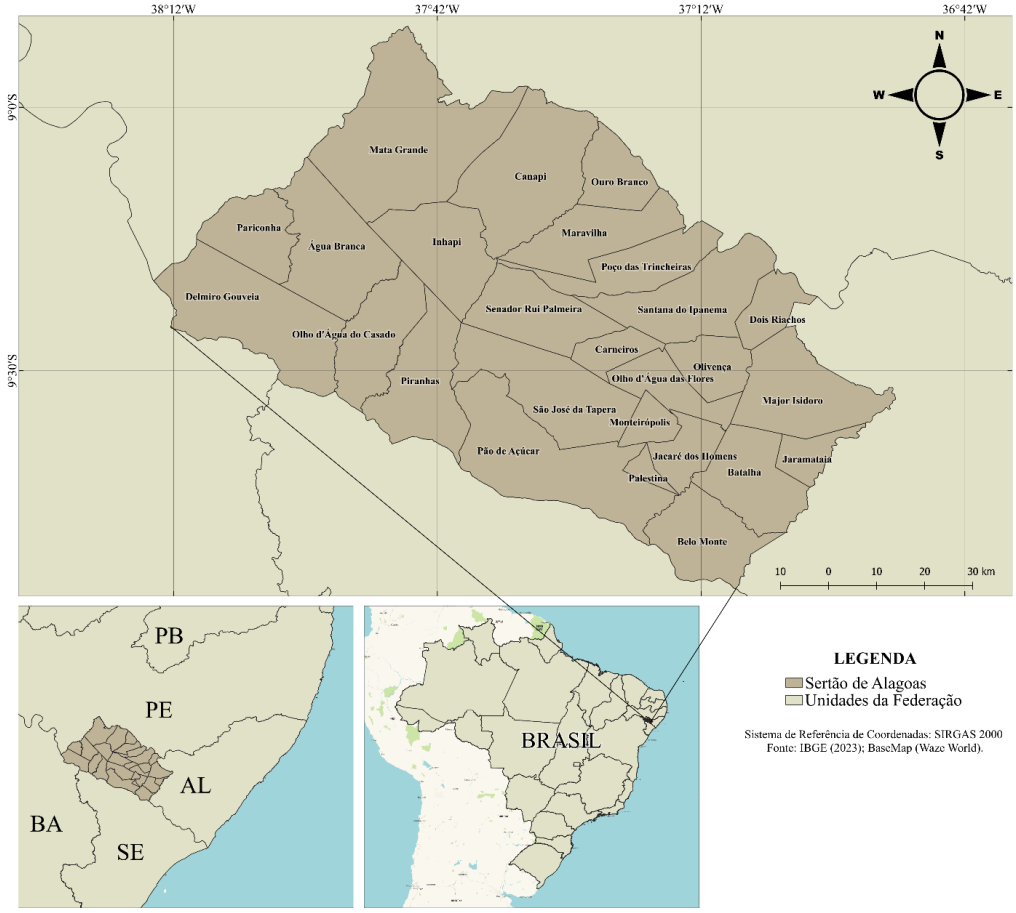


Figura 1 – Mapa de localização dos municípios do Sertão de Alagoas

O Sertão alagoano apresenta forte dependência dos recursos hídricos para abastecimento humano e desenvolvimento das atividades agropecuárias, sendo frequentemente impactado por períodos prolongados de estiagem. Além das limitações climáticas, a região apresenta desigualdades socioeconômicas e fragilidades estruturais que ampliam a vulnerabilidade frente aos eventos extremos. Segundo Levino et al. (2020), o semiárido alagoano caracteriza-se pela combinação entre escassez hídrica, limitações socioeconômicas e insuficiência de infraestrutura, fatores que dificultam o desenvolvimento regional e intensificam os impactos associados às secas prolongadas.

Procedimentos Metodológicos

A estrutura metodológica adotada neste estudo foi adaptada de Costa (2026), que desenvolveu um modelo integrado para análise de eventos extremos de seca com base em indicadores socioambientais, institucionais e de gestão hídrica. Neste trabalho, utilizou-se a dimensão relacionada à resiliência e capacidade adaptativa, mantendo-se as variáveis e os pesos estatísticos previamente definidos pelo autor.

O Índice de Resiliência e Capacidade Adaptativa (IRC) foi composto por cinco variáveis: taxa de alfabetização (TA) (IBGE, 2022), planos de contingência e/ou prevenção de secas (PCP) (IBGE, 2020a), convênios para assistência técnica (CAT) (IBGE. 2020b), ações para evitar ou minimizar os impactos da seca (AEM) ((IBGE. 2020c) e perdas de água nos sistemas de abastecimento (PA) (ANA, 2020).

Para compatibilização das diferentes escalas de mensuração, as variáveis diretamente proporcionais ao índice foram normalizadas conforme a Equação 1, enquanto a variável perdas de água (PA), por apresentar relação inversamente proporcional ao IRC, foi normalizada conforme a Equação 2.

$$I_{máx} = \frac{(I - V_{mín})}{(V_{máx} - V_{mín})} \quad (01)$$

$$I_{mín} = 1 - \frac{(I - V_{mín})}{(V_{máx} - V_{mín})} \quad (02)$$

Onde:

I_{max} - Valor normalizado para o indicador a ser maximizado;

$I_{mín}$ - Valor normalizado para o indicador a ser minimizado;

$V_{máximo}$ - Valor máximo do indicador;

$V_{mínimo}$ - Valor mínimo do indicador.

Após a normalização, realizou-se a integração das variáveis para composição do IRC. Os pesos aplicados foram adaptados de Costa (2026), sendo originalmente obtidos por meio da ACP a partir dos autovetores associados ao primeiro componente principal (PC1), conforme a Equação 3.

$$IRC = 0{,}2144\ (TA) + 0{,}1747(PCP) + 0{,}1945(CAT) + 0{,}2181(AEM) + 0{,}2007(PA) \quad (03)$$

A espacialização dos resultados foi realizada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software QGIS versão 3.34.3, possibilitando a representação espacial dos níveis de resiliência e capacidade adaptativa dos municípios analisados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta a espacialização das variáveis relacionadas à taxa de alfabetização (A) e aos planos de contingência e/ou prevenção de secas (B) nos municípios do Sertão de Alagoas. Esses

indicadores representam importantes componentes sociais e institucionais associados à capacidade adaptativa frente aos eventos extremos de seca.

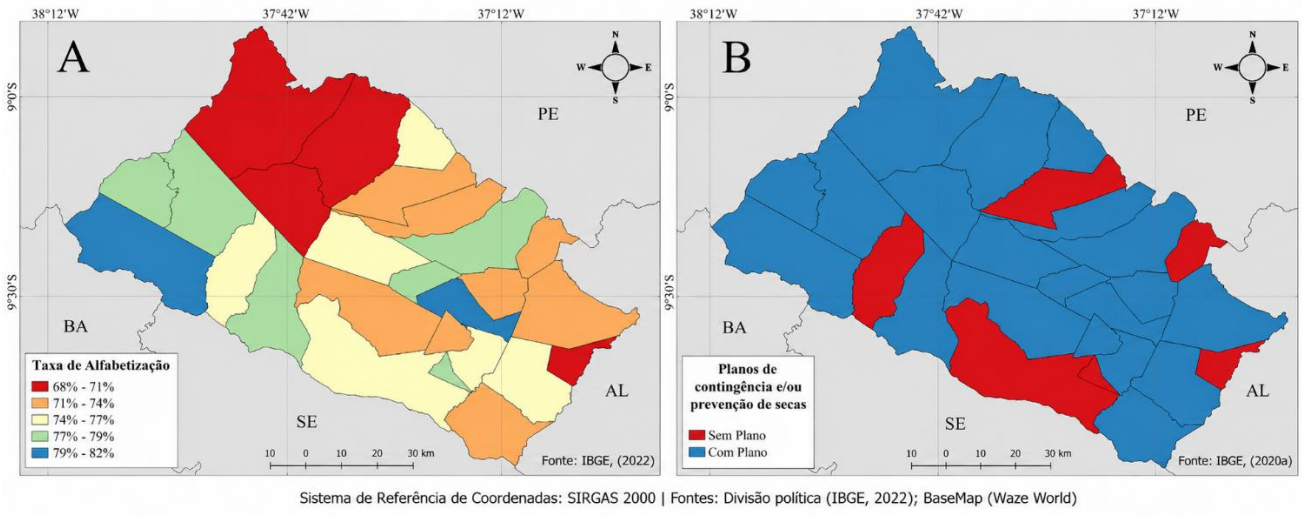


Figura 2 – Variáveis de taxa de alfabetização (A) e Planos de Contingência e/ou prevenção de secas (B).

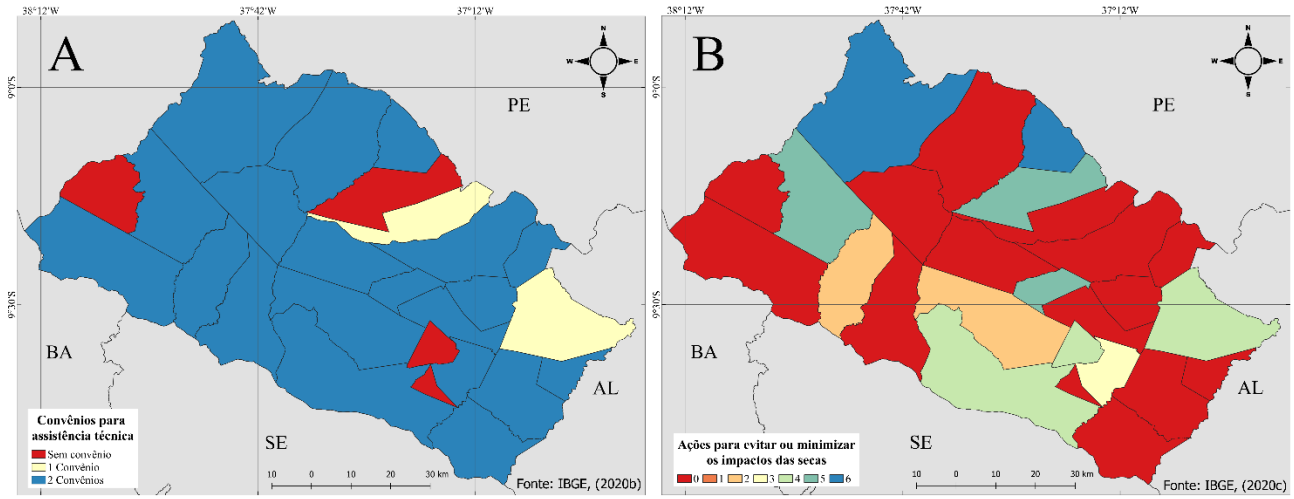
A taxa de alfabetização (Figura 2A) apresentou valores entre aproximadamente 68% e 82%, permanecendo abaixo da média nacional de alfabetização da população com 15 anos ou mais, estimada em 93% pelo Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2022). Os maiores percentuais foram observados em Delmiro Gouveia, Olho D'Água das Flores, Piranhas e Santana do Ipanema, enquanto Jaramataia, Mata Grande e Canapi apresentaram os menores valores. Esse cenário evidencia limitações sociais que podem comprometer o acesso à informação e a adoção de estratégias de enfrentamento frente aos eventos extremos.

Segundo o IPCC (2014), a educação constitui um dos principais fatores relacionados à adaptação às mudanças ambientais, favorecendo a compreensão dos riscos e o fortalecimento da capacidade adaptativa. Carvalho et al. (2023) também destacam que o aprendizado social representa elemento fundamental para redução da vulnerabilidade frente aos eventos extremos.

Os planos de contingência e/ou prevenção de secas (Figura 2B) apresentaram resultados predominantemente positivos, estando presentes em 21 dos 26 municípios analisados, correspondendo a aproximadamente 81% da área de estudo. Apenas Dois Riachos, Jaramataia, Maravilha, Olho D'Água do Casado e Palestina não apresentaram instrumentos formais de planejamento voltados ao enfrentamento da seca.

A presença desses mecanismos evidencia avanços institucionais relacionados à gestão preventiva no Sertão alagoano. Conforme Moya e Goenechea (2022), a resiliência social está diretamente associada à articulação institucional e aos processos de adaptação coletiva, enquanto Sass et al. (2024) destacam que indicadores relacionados à gestão local da seca constituem componentes essenciais para o fortalecimento da resiliência em regiões semiáridas.

A Figura 3 apresenta a espacialização das variáveis relacionadas aos convênios para assistência técnica (A) e às ações desenvolvidas para evitar ou minimizar os impactos das secas (B). Esses indicadores representam importantes mecanismos institucionais voltados ao fortalecimento das estratégias adaptativas no semiárido.



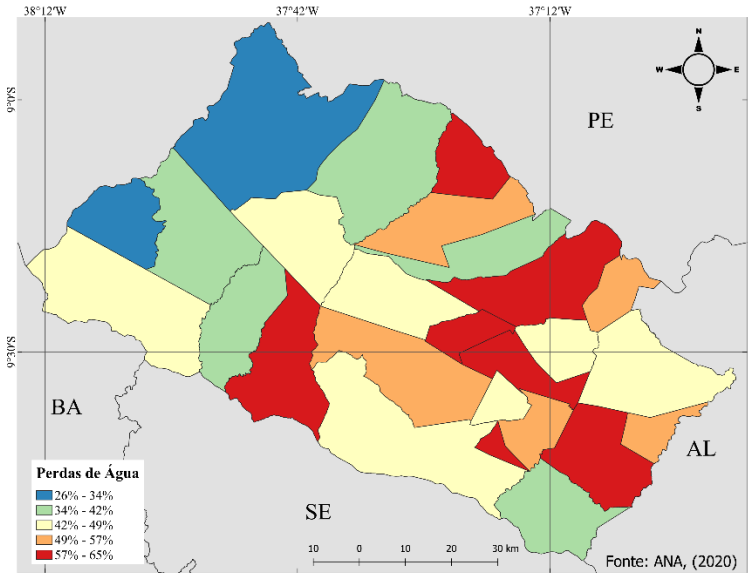
Sistema de Referência de Coordenadas: SIRGAS 2000 | Fontes: Divisão política (IBGE, 2022); BaseMap (Waze World)

Figura 3 – Variáveis de Convênios para assistência técnica (A) e Ações para evitar ou minimizar os impactos das secas (B).

Os convênios para assistência técnica (Figura 3A) apresentaram predominância de resultados positivos entre os municípios analisados. Observou-se que 22 dos 26 municípios possuíam algum tipo de convênio com instituições públicas, privadas ou ambas, voltados ao apoio das atividades agropecuárias, assistência técnica, extensão rural e áreas correlatas. Apenas Maravilha, Monteirópolis, Palestina e Pariconha não apresentaram convênios relacionados à assistência técnica. Esse resultado demonstra importante articulação institucional voltada ao fortalecimento das atividades produtivas e à ampliação das estratégias adaptativas frente aos períodos prolongados de seca.

Complementando os indicadores institucionais, as ações para minimizar os impactos da seca (Figura 3B) apresentaram variabilidade entre os municípios do Sertão de Alagoas. As principais iniciativas envolveram construção de cisternas, barragens, poços e incentivo à agricultura adaptada ao semiárido. Municípios como Mata Grande, Ouro Branco, Água Branca e Carneiros destacaram-se pela maior diversidade de ações implementadas, evidenciando maior capacidade de enfrentamento da estiagem. Esses resultados corroboram Oliveira (2019) e Costa (2026), que destacam a importância das estratégias preventivas e da gestão adaptativa para redução da vulnerabilidade frente aos eventos de seca.

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial das perdas de água nos sistemas de abastecimento dos municípios do Sertão de Alagoas, variável considerada um dos principais fatores relacionados à eficiência hídrica e à segurança do abastecimento em regiões semiáridas.



Sistema de Referência de Coordenadas: SIRGAS 2000
Fontes: Divisão política (IBGE, 2022); BaseMap (Waze World)

Figura 4 – Perdas de água nos sistemas de abastecimento dos municípios do Sertão de Alagoas.

Em relação à infraestrutura hídrica, as perdas de água nos sistemas de abastecimento (Figura 4) representaram um dos principais fatores limitantes da capacidade adaptativa municipal. Destacaram-se os elevados percentuais registrados em Olho D'Água das Flores (65,21%), Santana do Ipanema (63,56%) e Palestina (63,43%), enquanto Pariconha (26,38%), Mata Grande (27,14%) e Água Branca (35,81%) apresentaram os menores índices de perdas. Em regiões semiáridas, elevados percentuais de perdas comprometem a eficiência do abastecimento e ampliam a vulnerabilidade frente à seca, reforçando a importância da gestão eficiente da água para o fortalecimento da resiliência (Sass et al., 2024).

A integração das variáveis analisadas resultou no Índice de Resiliência e Capacidade Adaptativa (IRC), apresentado na Figura 5. Os resultados evidenciaram diferenças espaciais significativas entre os municípios do Sertão de Alagoas, demonstrando distintos níveis de capacidade adaptativa frente aos eventos de seca. Para interpretação dos resultados, adotou-se a seguinte classificação: Muito baixo (0–0,20), Baixo (0,20–0,40), Médio (0,40–0,60), Alto (0,60–0,80) e Muito alto (0,80–1,00).

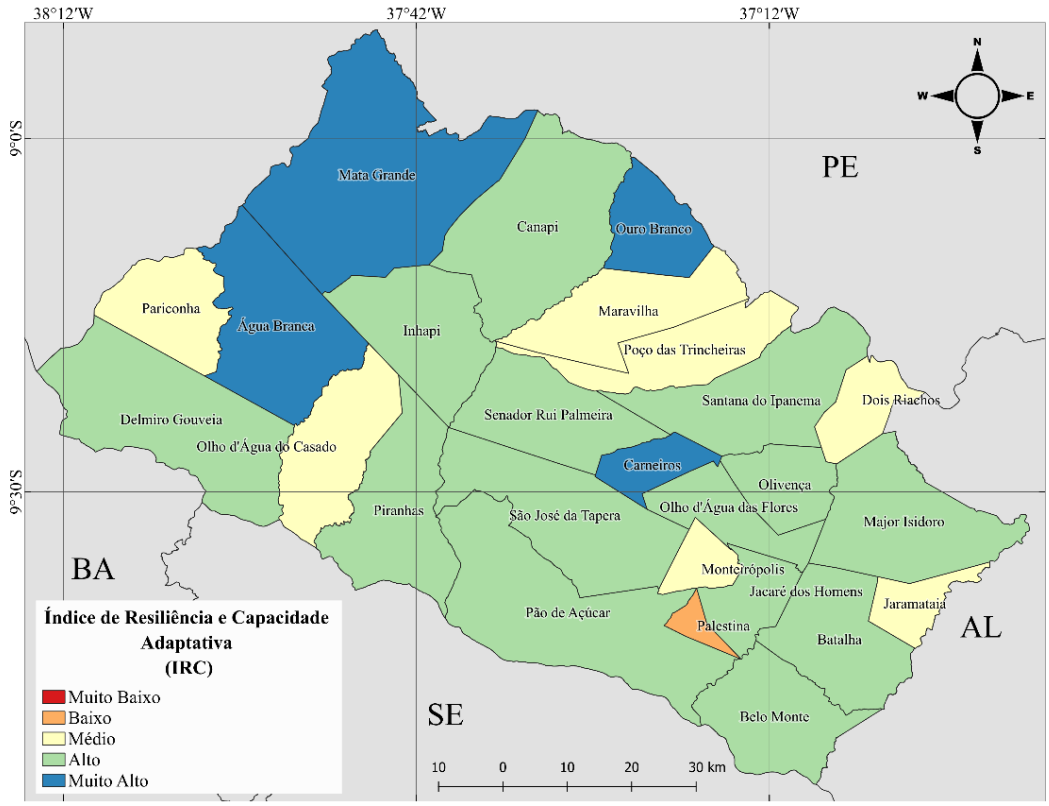


Figura 5 – Índice de Resiliência e Capacidade Adaptativa (IRC) dos municípios do Sertão de Alagoas.

Tabela 1 – IRC dos 26 municípios do Sertão de Alagoas, ordenados por ranking.

Ranking	Município	IRC	Classificação
1	Mata Grande	0,8813	Muito alto
2	Água Branca	0,8451	Muito alto
3	Ouro Branco	0,8338	Muito alto
4	Carneiros	0,7948	Alto
5	Jacaré dos Homens	0,7304	Alto
6	São José da Tapera	0,6928	Alto
7	Major Isidoro	0,6751	Alto
8	Delmiro Golveia	0,6615	Alto
9	Belo Monte	0,6517	Alto
10	Senador Rui Palmeira	0,6436	Alto
11	Canapi	0,6399	Alto
12	Olivença	0,6337	Alto
13	Inhapi	0,6320	Alto
14	Piranhas	0,6209	Alto
15	Batalha	0,6189	Alto
16	Santa do Ipanema	0,6118	Alto
17	Olho D'Água das Flores	0,6104	Alto
18	Pão de Açúcar	0,6104	Alto
19	Monteirópolis	0,5864	Médio
20	Poço das Trincheiras	0,5469	Médio
21	Olho D'Água do Casado	0,5463	Médio

22	Pariconha	0,4892	Médio
23	Jaramataia	0,4443	Médio
24	Dois Riachos	0,4391	Médio
25	Maravilha	0,4324	Médio
26	Palestina	0,2408	Baixo

Os maiores valores do IRC foram registrados em Mata Grande (0,88), Água Branca (0,85) e Ouro Branco (0,83), classificados com nível muito alto de resiliência. Carneiros (0,79) apresentou classificação alta, próximo da faixa muito alta. Esses municípios destacaram-se principalmente pela presença de planos de contingência, assistência técnica, ações preventivas e menores índices de perdas de água.

Municípios como Jacaré dos Homens, São José da Tapera, Major Isidoro, Delmiro Gouveia, Belo Monte, Senador Rui Palmeira, Canapi e Olivença apresentaram nível alto de resiliência, enquanto Monteirópolis, Olho D'Água do Casado, Pariconha, Jaramataia, Dois Riachos e Maravilha apresentaram nível médio. Em grande parte dos casos, os elevados percentuais de perdas de água limitaram resultados mais expressivos do índice.

Palestina apresentou o menor valor do IRC (0,24), sendo o único município classificado com baixo nível de resiliência. Esse resultado esteve associado principalmente à ausência de instrumentos institucionais e aos elevados índices de perdas de água.

Os resultados reforçam que fatores sociais, institucionais e relacionados à gestão hídrica exercem influência direta sobre a capacidade adaptativa municipal (Adger, 2000). Dessa forma, investimentos em infraestrutura hídrica, redução das perdas de água e fortalecimento das estratégias preventivas podem contribuir para ampliação da resiliência frente aos eventos de seca. Nesse sentido, o IRC pode subsidiar a priorização de investimentos públicos, direcionando recursos inicialmente aos municípios com os menores valores do índice, como Palestina, Maravilha, Dois Riachos e Jaramataia, bem como priorizando a redução de perdas de água em municípios como Olho D'Água das Flores e Santana do Ipanema.

Cabe registrar como limitação do estudo o uso de dados secundários do IBGE e da ANA com anos de referência distintos (2020 e 2022), o que pode gerar defasagem temporal entre indicadores, além da ausência de dados primários coletados em campo, que limita a validação local dos resultados.

CONCLUSÃO

A aplicação do Índice de Resiliência e Capacidade Adaptativa (IRC) permitiu identificar diferenças espaciais na capacidade dos municípios do Sertão de Alagoas em enfrentar os impactos da

seca. Os resultados evidenciaram que fatores institucionais, ações preventivas e eficiência hídrica exercem influência direta sobre a capacidade adaptativa municipal.

Os maiores níveis de resiliência foram observados em Mata Grande, Água Branca e Ouro Branco, municípios que apresentaram melhor desempenho relacionado à presença de planos de contingência, assistência técnica e ações voltadas à mitigação da seca. Em contrapartida, Palestina apresentou o menor índice, associado principalmente à ausência de instrumentos institucionais e aos elevados percentuais de perdas de água.

De modo geral, os resultados demonstram a necessidade de fortalecimento das políticas públicas voltadas à gestão hídrica, redução das perdas nos sistemas de abastecimento e ampliação das estratégias preventivas no semiárido alagoano. Além disso, o IRC mostrou-se uma ferramenta eficiente para subsidiar o planejamento territorial e apoiar a gestão do risco climático nos municípios analisados.

REFERÊNCIAS

ADGER, W. N. (2000). "*Social and ecological resilience: are they related? Progress in Human Geography"*. 24, n. 3, p. 347-364. Disponível em: https://doi.org/10.1191/030913200701540465. Acesso em: 11 jun. 2026.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. (2020). Usos Consuntivos da Água no Brasil (1931-2040). Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/5146c9ec 5589-4af1-bd64-d34848f484fd. Acesso em: 05 jun. 2026.

CARVALHO, C. C. A.; RUFINO, I. A. A.; BRITO, H. C.; ALVES, P. B. R. (2023). *"Eventos extremos compostos relacionados à água e a capacidade adaptativa: uma análise espacial em Campina Grande/PB"*. Revista Geotemas, 13, p. e02313.

COSTA, J. S. (2026). *"Análise multidimensional de eventos de seca na bacia do rio Coruripe - Alagoas, Brasil"*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2020a). "*Municípios total e atingidos pela seca nos últimos 4 anos, existência de Plano de Contingência e/ou Prevenção para a seca, por classe de tamanho da população do município"*. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/8530. Acesso em: 05 jun. 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2020b). "*Municípios total e com órgão público ou convênios com instituições que atuem na assistência técnica e/ou extensão rural, por tipo de órgão, por tipo de instituição, por classe de tamanho da população"*. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/8449. Acesso em: 05 jun. 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2020c). *"Municípios atingidos pela seca nos últimos 4 anos, ano da seca de maior impacto, ocorrências no ano da seca*

de maior impacto e ações para evitar ou minimizar os danos causados pela seca, por classe de tamanho da população do município". Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/8534. Acesso em: 05 jun. 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2022). *"Taxa de alfabetização das pessoas de 15 anos ou mais de idade por sexo, cor ou raça e grupos de idade"*. Disponível https://sidra.ibge.gov.br/tabela/9543. Acesso em: 05 jun. 2026.

IPCC – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/. Acesso em: 10 jun. 2026.

LEVINO, N. A.; SANTOS, E. M.; SILVA, R. C. S. (2020). *"Perspectivas de desenvolvimento no semiárido: um estudo sobre os impactos iniciais do Canal do Sertão na realidade dos produtores rurais alagoanos"*. Research, Society and Development, 9(10), p. e6559109015.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P. M. A.; ALVES, L. M. (2016). A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. Revista Brasileira de Meteorologia. Vol 35, p. 701–714.

MOYA, J.; GOENECHEA, M. (2022). *"An approach to the unified conceptualization, definition, and characterization of social resilience"*. International Journal of Environmental Research and Public Health. v. 19, n. 9, p. 5746, 9. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph19095746.

OLIVEIRA, V. H. (2019). *"Natural disasters and economic growth in Northeast Brazil: evidence from municipal economies of the Ceara State"*. Environment and Development Economics, v. 24, n.3, p. 271-293. DOI: https://doi.org/10.1017/S1355770X18000517.

PADRÓN-MONEDERO, A. LINARES, C. DÍAZ, J. NOGUER ZAMBRANO, I. (2024). *"Impact of drought on mental and behavioral disorders, contributions of research in a climate change contexto"*. A narrative review. International Journal of Biometeorology, vol. 68, p. 1035-1042. DOI: 10.1007/s00484-024 02657-x.

PETKOVA, E. P.; CELOVSKY, A. S.; TSAI, W.-Y.; EISENMAN, D. P. (2017). *"Mental Health Impacts of Droughts: Lessons for the U.S. from Australia in Climate Change Management'*. Springer, Cham, pp. 289–304.

SASS, K. S.; KONAK, A.; MACEDO, M. B.; BENSO, M. R.; SHRIMPTON, E.; BALTA-OZKAN, N.; SARMAH, T.; MENDIONDO, E. M.; SILVA, G. J.; SILVA, P. G. C.; NARDOCCI, A. C.; JACOBSON, M. (2024). *"Enhancing drought resilience and vulnerability assessment in small farms: A global expert survey on multidimensional indicators"*. International Journal of Disaster Risk Reduction, 110, p. 104616.