



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**DINÂMICA DA DEGRADAÇÃO DA TERRA EM ÁREAS SUSCETÍVEIS À
DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL**

ISABEL MACEDO DE OLIVEIRA MARTINS COSTA

CAMPINA GRANDE – PB

2026

ISABEL MACEDO DE OLIVEIRA MARTINS COSTA

**DINÂMICA DA DEGRADAÇÃO DA TERRA EM ÁREAS SUSCETÍVEIS À
DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil
Ambiental - PPGECA da Universidade
Federal de Campina Grande – UFCG.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Linha de Pesquisa: Recursos Hídricas

Orientador: Prof. Dr. John Elton de Brito Leite Cunha

Coorientador: Ulisses Alencar Bezerra

CAMPINA GRANDE – PB

2026

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Sistema de Bibliotecas - SISTEMOTECA
Catalogação de Publicação na Fonte. UFCG - Biblioteca Central

C837d

Costa, Isabel Macedo de Oliveira Martins.

Dinâmica da degradação da terra em áreas suscetíveis à desertificação
/ Isabel Macedo de Oliveira Martins Costa. – 2026.

97 f. : il. color.

Dissertação (mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) –
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e
Recursos Naturais, 2026.

“Orientação: Prof. Dr. John Elton de Brito Leite Cunha, Prof. Ulisses
Alencar Bezerra”.

Referências.

1. Saneamento Ambiental. 2. Recursos Hídricos. 3. Degradação da
Terra. 4. Núcleos de Desertificação. 5. SIG. 6. Sensoriamento Remoto. I.
Cunha, John Elton de Brito Leite. II. Bezerra, Ulisses Alencar. III. Título.

UFCG/BC

CDU 624(043.3)

ISABEL MACEDO DE OLIVEIRA MARTINS COSTA

**DINÂMICA DA DEGRADAÇÃO DA TERRA EM ÁREAS SUSCETÍVEIS À
DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil
Ambiental - PPGECA da Universidade
Federal de Campina Grande – UFCG.

Aprovada em: 23/02/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr John Elton de Brito Leite Cunha - UFCG
Orientador

Prof. Dr. Ulisses Alencar Bezerra - UFCG
Coorientador

Dra. Cínthia Maria de Abreu Claudino - UFCG
Membro Externo

Dr. Higor Costa de Brito - UFCG
Membro Externo



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO ENGENHARIA CIVIL AMBIENTAL
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

1. **ATA DA DEFESA PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**
2. **ALUNO(A): ISABEL MACEDO DE OLIVEIRA MARTINS COSTA / COMISSÃO EXAMINADORA: DR. JOHN ELTON DE BRITO LEITE CUNHA - PPGECA/UFCG (PRESIDENTE) - ORIENTADOR, DR. ULISSES ALENCAR BEZERRA - UFCG - COORIENTADOR, DR.^a CINTHIA MARIA DE ABREU CLAUDINO - EXAMINADORA EXTERNA, DR. HIGOR COSTA DE BRITO - EXAMINADOR EXTERNO (PORTARIA 08/2026)/ TITULO DA DISSERTAÇÃO: "DINÂMICA DA DEGRADAÇÃO DA TERRA EM ÁREAS SUSCETÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL" / ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL / HORA DE INICIO: 14:30 HORAS / NO LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA II, BLOCO BU, CAMPUS SEDE DA UFCG, DE FORMA HÍBRIDA.**
3. **EM SESSÃO REALIZADA EM FORMATO HÍBRIDO, APÓS EXPOSIÇÃO DE CERCA DE 40 MINUTOS, O(A) CANDIDATO(A) FOI ARGUIDO(A) ORALMENTE PELOS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA, TENDO DEMONSTRADO SUFICIÊNCIA DE CONHECIMENTO E CAPACIDADE DE SISTEMATIZAÇÃO NO TEMA DE SUA DISSERTAÇÃO, SENDO-LHE ATRIBUÍDA O CONCEITO "EM EXIGÊNCIA", SENDO QUE A POSSIBILIDADE DE APROVAÇÃO ESTÁ CONDICIONADA À AVALIAÇÃO DA NOVA VERSÃO DO TRABALHO FINAL, SEGUINDO PROCEDIMENTOS PREVISTOS NA RESOLUÇÃO DO PROGRAMA. O PRESIDENTE DA COMISSÃO EXAMINADORA, OUVIDOS OS DEMAIS MEMBROS, DEVERÁ FICAR RESPONSÁVEL POR ATESTAR QUE AS CORREÇÕES SOLICITADAS NA LISTA DE EXIGÊNCIAS FORAM ATENDIDAS NA VERSÃO FINAL DO TRABALHO. A COMISSÃO EXAMINADORA CUMPRINDO OS PRAZOS REGIMENTAIS, ESTABELECE UM PRAZO MÁXIMO DE 30 DIAS PARA QUE SEJAM FEITAS AS ALTERAÇÕES EXIGIDAS. APÓS O DEPÓSITO FINAL DO DOCUMENTO DE DISSERTAÇÃO, DEVIDAMENTE REVISADO E MEDIANTE ATESTADO DO ORIENTADOR, O CONCEITO "EM EXIGÊNCIA" PASSARÁ IMEDIATAMENTE PARA O DE "APROVADO". NA FORMA REGULAMENTAR, FOI LAVRADA A PRESENTE ATA, QUE É ASSINADA POR MIM, FLÁVIO PEREIRA DA CUNHA, SECRETÁRIA, ALUNO E OS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA PRESENTES.**
4. **CAMPINA GRANDE, 23 DE FEVEREIRO DE 2026**



Documento assinado eletronicamente por **Higor Costa de Brito, Usuário Externo**, em 24/02/2026, às 18:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cinthia Maria de Abreu Claudino, Usuário Externo**, em 24/02/2026, às 22:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Isabel Macedo de Oliveira Martins Costa, Usuário Externo**, em 25/02/2026, às 11:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ulisses Alencar Bezerra, Usuário Externo**, em 25/02/2026, às 11:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **FLAVIO PEREIRA DA CUNHA, SECRETÁRIO (A)**, em 25/02/2026, às 15:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOHN ELTON DE BRITO LEITE CUNHA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/03/2026, às 21:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **6264456** e o código CRC **197EACD3**.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, primeiramente, a Deus, que me sustentou durante toda essa caminhada no mestrado. Nesse período, fortaleci minha fé, aprendi a ter mais resiliência e adquirir mais sabedoria para entender sobre os acontecimentos da vida. O mestrado não foi um período fácil, ao longo dessa trajetória, enfrentei perdas e diversos desafios, que exigiram de mim força, perseverança e amadurecimento.

Agradeço à minha mãe, por sempre estar ao meu lado, rezando por mim, oferecendo aconchego nos dias em que eu ia a Nova Floresta para descansar e acompanhando de perto cada etapa dessa caminhada. Ao meu pai, que torceu por mim diariamente durante o mestrado e continua torcendo pelo meu futuro, demonstrando seu carinho em gestos simples, como quando comprava melancia por saber que eu gostava. Aos meus irmãos, Irajá, Iracilda e Isadora, por todo o apoio emocional, carinho e atenção, que tornaram essa caminhada mais leve e significativa.

Não poderia deixar de agradecer aos meus sobrinhos, Ana Clara e Otávio, que são meus amores e as pessoas que renovam minha alma. Agradeço também ao meu namorado, Otávio, que foi essencial durante todo esse processo, sempre me ouvindo, aconselhando e estando presente em todos os momentos, oferecendo apoio da melhor forma possível. Ter você ao meu lado foi fundamental nessa trajetória.

Dedico esta dissertação a duas pessoas que não estão mais aqui na Terra: ao meu avô, Jaime, cujo sonho era ter netos “doutores”, como ele costumava dizer, e que sempre se referia a mim como a “moreninha” e à minha tia Jaça que estaria muito feliz por essa etapa da minha vida.

Agradeço aos meus amigos do BU, que nunca me abandonaram, em especial Roneide, Karla, Patrícia, Ingrid, Laisa e Fernanda, que sempre estiveram presentes, me ouvindo, aconselhando e me acalmando durante todo esse processo. Agradeço ao meu orientador e ao meu coorientador, pela paciência e por toda a ajuda ao longo do mestrado, e ao professor Carlos, que foi um verdadeiro apoio emocional durante essa trajetória. Agradeço ainda a todos que fazem parte do Observatório da Caatinga, do qual tive a honra de participar durante esse período.

"Se você não tivesse capacidade, Deus não te daria a oportunidade. Seus medos você já conhece, experimente suas coragens" (Santa Terezinha).

RESUMO

A degradação da terra no Brasil apresenta-se como uma preocupação crescente, visto que a extensão das áreas degradadas tem se expandido de forma acelerada. Entre 2000 e 2020, as Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD) aumentaram em aproximadamente 170 mil km², refletindo diretamente o impacto das mudanças climáticas e do uso inadequado do solo. Dentro deste território, os Núcleos de Desertificação (ND) destacam-se como pontos focais onde a degradação atinge níveis avançados. Considerando que a atualização oficial dessas áreas ocorreu à décadas atrás, este trabalho avaliou a dinâmica atual da degradação nos núcleos reconhecidos pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) e identificou novas áreas que apresentam níveis elevados de degradação da terra, por meio do Índice de Degradação da Terra (IDT), desenvolvido para o Plano Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, 2025. Além da identificação espacial dessas áreas, o estudo avaliou variáveis ambientais, climáticas e socioeconômicas associadas ao processo de degradação da terra. A análise identificou 203 municípios distribuídos em nove estados, nos quais pelo menos 30% da área total encontra-se degradada. Os resultados evidenciam que as áreas classificadas com níveis críticos de degradação estão associadas a um conjunto de condições ambientais, caracterizadas por regime pluviométrico irregular, déficit hídrico persistente, baixa cobertura vegetal e temperaturas de superfície elevadas. A análise temporal indicou a recorrência de anos secos, com redução de aproximadamente 50% nos totais pluviométricos medianos entre as áreas mais úmidas (≈ 990 mm) e mais secas (≈ 490 mm). Observou-se predominância de valores negativos de *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI) entre 2000 e 2024, com medianas variando de -0,05 a -0,01, representando baixa umidade do solo. Verificou-se ainda redução progressiva do *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI), com diminuição aproximada de 25% na cobertura vegetal entre as áreas com maiores e menores medianas, especialmente a partir dos anos 2000. Paralelamente, observaram-se temperaturas elevadas, com medianas superiores a 36 °C, além de maior ocorrência de extremos térmicos, cujos valores máximos variaram entre 42 °C e 45,5 °C. Além disso, verifica-se uma tendência de elevação da temperatura da superfície estimada entre 1,5 °C e 2,5 °C no período de 1985 a 2024, o que corresponde a um incremento médio de aproximadamente +0,5 °C por década, com intensificação mais pronunciada nas últimas décadas. A distribuição espacial das variáveis reforça esses padrões, indicando maior severidade das condições ambientais em estados localizados nas porções mais áridas do semiárido brasileiro. Os resultados revelam ainda que, enquanto os ND históricos permanecem em estado emergente, com temperaturas de superfície em ascensão e sinais claros de degradação avançada, as novas áreas críticas identificadas apresentam um cenário ainda mais severo e generalizado. Nessas áreas, os valores de *Land Surface Temperature* (LST) que retrata a temperatura de superfície, são mais elevados, o NDMI mantém-se predominantemente negativo e o SAVI apresenta menores níveis e menor capacidade de recuperação, indicando déficit hídrico crônico e cobertura vegetal mais esparsa e instável. Os ND, ainda se observam respostas pontuais da vegetação em anos mais chuvosos, as áreas críticas revelam menor capacidade de resiliência ambiental. Do ponto de vista socioeconômico, o cenário é marcado pelo crescimento do Produto Interno Bruto associado à expansão agrícola, evidenciando que o desenvolvimento econômico local tem ocorrido sob forte pressão ambiental. Dessa forma, o estudo atualiza o diagnóstico da degradação da terra nas ASD, identifica áreas prioritárias e contribui para o redirecionamento de políticas públicas e investimentos voltados à prevenção, mitigação e combate à desertificação no Brasil.

Palavras-chave: Degradação da terra; Núcleos de Desertificação; SIG; Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

Land degradation in Brazil has become an increasing concern, as the extent of degraded areas has expanded rapidly. Between 2000 and 2020, the Areas Susceptible to Desertification (ASD) increased by approximately 170,000 km², reflecting the combined effects of climate change and inadequate land use. Within this territory, the officially recognized Desertification Nuclei (DN) represent focal areas where degradation has reached advanced stages. Given that the last official update of these areas occurred decades ago, this study assessed the current degradation dynamics in the DN recognized by the Ministry of the Environment and Climate Change (MMA) and identified new land degradation hotspots using the Land Degradation Index (LDI), developed for the Brazilian Plan to Combat Desertification and Mitigate the Effects of Drought (2025). The study identified 203 municipalities across nine states in which at least 30% of the total area is degraded. Critically degraded areas are associated with adverse environmental conditions, including irregular rainfall patterns, persistent water deficit, low vegetation cover, and elevated land surface temperatures. Temporal analysis revealed recurrent dry years, with an approximate 50% difference in median rainfall totals between wetter (~990 mm) and drier (~490 mm) areas. The Normalized Difference Moisture Index (NDMI) showed predominantly negative values between 2000 and 2024 (medians ranging from -0.05 to -0.01), indicating low soil moisture. The Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) exhibited a progressive decline, with an approximate 25% reduction in vegetation cover between areas with higher and lower median values, particularly after the 2000s. Elevated temperatures were also observed, with median values exceeding 36 °C and thermal extremes ranging from 42 °C to 45.5 °C. An increasing trend in land surface temperature of 1.5 °C to 2.5 °C was identified for the period 1985–2024, corresponding to an average rise of approximately 0.5 °C per decade, with more pronounced intensification in recent decades. Spatial patterns indicate greater environmental severity in the more arid portions of the Brazilian semiarid region. While historical Desertification Nuclei remain in an advanced but localized degradation stage, the newly identified hotspots exhibit a more widespread and severe pattern. These areas present higher land surface temperatures, persistently negative NDMI values, and lower SAVI levels with limited recovery capacity, suggesting chronic water deficit and reduced environmental resilience. From a socioeconomic perspective, growth in Gross Domestic Product associated with agricultural expansion indicates that local economic development has occurred under significant environmental pressure. This study therefore updates the current diagnosis of land degradation in the Areas Susceptible to Desertification, identifies priority areas, and supports the redirection of public policies and investments aimed at preventing and mitigating desertification in Brazil.

KEYWORDS: Land degradation; Desertification Hotspot; GIS; Remote Sensing.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Caracterização dos municípios que fazem parte dos ND.....	27
Tabela 2- Variáveis Ambientais e climáticas utilizadas.....	30
Tabela 3- Municípios que tiveram 30% ou mais de sua área degradada.....	75
Tabela 4 - Resultado das análises ambientais e climáticas nos ND.....	83
Tabela 5 - Resultado das análises ambientais e climáticas das áreas com níveis críticos.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma do processo metodológico adotado na pesquisa	24
Figura 2 - Localização da área de estudo.....	25
Figura 3 - Localização dos Núcleos de Desertificação (ND)	26
Figura 4 - Ilustração da integração dos produtos para elaboração do IDT.....	29
Figura 5 - Mapas temáticos da degradação	37
Figura 6 - IDT nos Núcleos de Desertificação.....	38
Figura 7 - Municípios que permaneceram degradados	40
Figura 8 - Municípios que evoluíram para níveis críticos	42
Figura 9 - Conjunto total dos degradados	43
Figura 10 - Municípios com $\geq 30\%$ de área degradada	44
Figura 11 - Áreas com níveis críticos de degradação da terra	45
Figura 12 - Áreas com níveis críticos por estado das ASD.....	47
Figura 13 - Núcleos de Desertificação (ND) e as áreas com níveis críticos.....	48
Figura 14 - Comportamento temporal da temperatura nos Núcleos de Desertificação (ND)...	51
Figura 15 - LST por Núcleo de Desertificação (ND).....	52
Figura 16 - Comportamento temporal do NDMI nos Núcleos de Desertificação (ND).....	53
Figura 17 - NDMI por Núcleo de Desertificação (ND).....	54
Figura 18 - Comportamento temporal da precipitação nos Núcleos de Desertificação (ND)...	55
Figura 19 - Precipitação por Núcleo de Desertificação (ND).....	55
Figura 20 - Comportamento temporal do SAVI nos Núcleos de Desertificação (ND).....	56
Figura 21- SAVI por Núcleo de Desertificação (ND).....	58
Figura 22 - Comportamento temporal da LST nas áreas com níveis críticos.....	59
Figura 23 - Boxplot da temperatura de superfície (LST) nas áreas com níveis críticos.....	60
Figura 24 - Comportamento temporal do NDMI nas áreas com níveis críticos.....	61
Figura 25 - Boxplot do NDMI nas áreas com níveis críticos.....	61
Figura 26 - Tendência temporal da precipitação nas áreas com níveis críticos.....	62

Figura 27 - Boxplot da precipitação nas áreas com níveis críticos.....	63
Figura 28 - Tendência temporal da precipitação nas áreas com níveis críticos.....	63
Figura 29 - Boxplot do SAVI nas áreas com níveis críticos.....	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APP	Área de Preservação Permanente
ASD	Áreas Suscetíveis à Desertificação
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CHIRPS	<i>Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data</i>
COP	<i>Conference of the Parties</i>
ET	<i>Evapotranspiration</i>
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
IA	Índice de Aridez
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDT	Índice de Degradação da Terra
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LST	<i>Land Surface Temperature</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
ND	Núcleos de Desertificação
NDMI	<i>Normalized Difference Moisture Index</i>
NIR	<i>Near Infrared</i> (Infravermelho Próximo)
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OCA	Observatório da Caatinga e Desertificação
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PAN-Brasil	Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca
PAB-Brasil	Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca
PIB	Produto Interno Bruto
PRODES	Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite
QGIS	<i>Quantum Geographic Information System</i>
RED	<i>Red band</i> (Banda do Vermelho)
SAVI	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SWIR	<i>Shortwave Infrared</i> (Infravermelho de Ondas Curtas)

TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UNCCD	<i>United Nations Convention to Combat Desertification</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. OBJETIVOS.....	14
1.1.1. Objetivo geral.....	14
1.1.2. Objetivos específicos.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1. Degradação da terra e desertificação: arcabouço institucional e conceitual.....	15
2.2. Aridez.....	16
2.3. Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD).....	17
2.4. Índice de Degradação da Terra (IDT) e variáveis ambientais e climáticas.....	19
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. Área de estudo.....	22
3.2. Núcleos de Desertificação (ND).....	23
3.3. Obtenção dos dados.....	25
3.3.1. Índice de degradação da terra (IDT).....	25
3.3.2. Variáveis ambientais e climáticas.....	26
3.3.2.1. Land Surface Temperature (LST).....	28
3.3.2.2. Normalized Difference Moisture Index (NDMI).....	29
3.3.2.3. Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI).....	29
3.4. Identificação das áreas com níveis críticos de degradação da terra.....	30
3.4.1. Municípios permaneceram degradados.....	31
3.4.2. Municípios que evoluíram para níveis críticos.....	32
3.4.3. Conjunto total dos municípios com área degradada.....	32
3.4.4. Áreas com níveis críticos de degradação.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1. Mapas temáticos.....	34
4.2. Dinâmica dos Núcleos de Desertificação (ND).....	35
4.3. Identificação das áreas com níveis críticos de degradação.....	36
4.3.1. Análise dos municípios que permaneceram nos níveis 4 e 5.....	36

4.3.2. Avaliação dos municípios que evoluíram para os níveis 4 e 5.....	38
4.3.3. Análise dos municípios que permaneceram e evoluíram para os níveis 4 e 5....	40
4.3.4. Avaliação dos Municípios que tiveram $\geq 30\%$ de sua área total degradada.....	41
4.3.5. Áreas com níveis críticos de degradação da terra.....	42
4.3.6. Análise visual dos Núcleos de Desertificação (ND) e das áreas com níveis críticos.....	45
4.4. Variáveis ambientais e climáticas.....	46
4.4.1. Núcleos de Desertificação.....	46
4.4.2. Áreas com níveis críticos de degradação da terra.....	55
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
5.1. Recomendações.....	63
APÊNDICES.....	72

1.INTRODUÇÃO

A desertificação é o processo de degradação da terra que ocorre em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, onde a combinação entre variabilidade climática e pressões antrópicas intensifica a vulnerabilidade dos sistemas naturais e sociais, podendo afetar a agricultura, pecuária e redução dos componentes químicos do solo, configurando um solo pobre e infértil (Cheval, 2017; Montenegro, 2023). A degradação da terra não é apenas um problema ambiental, ela afeta diretamente a economia e a vida das pessoas, ao degradar solos férteis, resultando em insegurança alimentar, fome e escassez de água potável. Para superá-la, precisamos unir o conhecimento científico às decisões políticas, garantindo a participação da sociedade e o uso justo do território (Sudene, 2025).

No cenário mundial, a produção científica sobre desertificação apresenta forte concentração geográfica. Estudos baseados em sensoriamento remoto somam aproximadamente 245 artigos na Ásia, em comparação com 45 na África e 35 nas Américas, evidenciando uma assimetria na distribuição das pesquisas e a necessidade de ampliar investigações em regiões ainda sub-representadas (Rivera-Marin; Dash e Ogutu, 2022).

Nesse contexto, o Brasil insere-se como uma área estratégica para o avanço dessas análises, uma vez que a desertificação ocorre principalmente em regiões caracterizadas por baixos índices de aridez, conhecidas como Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD). Dentro dessas áreas, determinadas porções do território apresentam níveis mais avançados de degradação da terra, sendo denominadas Núcleos de Desertificação (ND), conforme definição do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) (Brasil, 2007). Esses núcleos atualmente reconhecidos no país têm origem nos estudos pioneiros conduzidos por Vasconcelos Sobrinho (1971), que identificou essas áreas com intensos processos de degradação do solo e da vegetação em estados do Nordeste brasileiro (Peixoto, 2025). Essas áreas, posteriormente avaliadas em campo com o apoio do MMA, passaram a ser oficialmente reconhecidas, constituindo referências históricas e espaciais fundamentais para o entendimento e o monitoramento do avanço da desertificação no Brasil (Cruz Neto et al., 2021). Esses núcleos distinguem-se pelo uso inadequado dos recursos naturais, pela presença significativa de solo exposto, pela redução da cobertura vegetal e por sinais evidentes de erosão, refletindo a fragilidade ambiental desses ambientes (Perez-Marin, 2012; Vieira et al., 2015).

Apesar de sua relevância histórica, os ND foram delimitados em um contexto marcado por limitações tecnológicas e pela ausência de dados espaciais contínuos, o que levanta questionamentos sobre sua atual representatividade diante das intensas transformações territoriais ocorridas nas últimas décadas. A expansão das atividades agropecuárias, as mudanças no uso e na cobertura da terra, o crescimento urbano e a crescente variabilidade climática indicam que os processos de degradação da terra têm se deslocado espacialmente (IPCC, 2019).

Nesse contexto, diversas pesquisas (Vieira et al., 2015; Silva, 2016; Silva 2023) têm sido desenvolvidas com o objetivo de identificar, quantificar e mitigar os efeitos da desertificação, utilizando metodologias baseadas em indicadores ambientais e técnicas de sensoriamento remoto. Ao longo do tempo, esses estudos têm buscado aprimorar a precisão do monitoramento da desertificação, seja por meio de abordagens mais simples ou de modelos mais complexos (Tomassela et., 2018). Assim, torna-se fundamental o desenvolvimento de metodologias que conciliam eficiência, menor complexidade e aplicabilidade em diferentes contextos ambientais, especialmente em regiões que são consideradas suscetíveis à desertificação, onde apresentam combinação de fatores climáticos e antrópicos, como irregularidade pluviométrica, déficit hídrico recorrente, solos frágeis e pressões decorrentes do desmatamento e do manejo inadequado da terra. Esses fatores favorecem a degradação do solo, reduzem sua capacidade de retenção de água e nutrientes e comprometem a resiliência da vegetação nativa (Reynolds et al., 2007).

No Brasil foi desenvolvido um Índice de Degradação da Terra (IDT), com o intuito de avaliar a intensidade e a extensão dos processos de degradação, compondo o diagnóstico climático, ambiental e socioeconômico do PAB-Brasil, 2025 ao integrar informações sobre cobertura do solo, produtividade e carbono orgânico, permitindo uma leitura objetiva e comparável dos níveis de degradação em diferentes escalas espaciais e temporais (Cunha, 2025). De acordo com D'Acunto et al., 2024 o uso de indicadores derivados de sensoriamento remoto tem se consolidado como uma abordagem robusta para a avaliação espaço-temporal da degradação da terra.

Entretanto, identificar onde a degradação ocorre não é suficiente para compreender sua dinâmica. Torna-se fundamental compreender por que determinadas áreas apresentam níveis críticos persistentes ou emergentes de degradação. Um estudo desenvolvido por Curtis et al., 2018 destaca que a degradação da terra não resulta de um único fator, mas de diferentes

drivers de mudança no uso da terra, que produzem padrões espaciais distintos, como expansão de *commodities* agrícolas, agricultura itinerante, pressão urbana e infraestrutura associada ao crescimento populacional.

O uso de variáveis ambientais e climáticas em estudos sobre degradação da terra (Souza, 2016; Barbosa; Oliveira, 2022; Silva et al., 2023) é amplamente adotado, por permitir uma análise integrada das condições da superfície terrestre, da disponibilidade hídrica e da resposta da vegetação às pressões naturais e antrópicas. Essas variáveis possibilitam identificar padrões, tendências e mudanças ao longo do tempo, contribuindo para a compreensão dos processos que intensificam a degradação, especialmente em regiões climaticamente vulneráveis, que possuem altas temperaturas e baixa precipitação (Marengo, 2017).

Diante desse cenário, este estudo parte da seguinte questão central: os ND permanecem sendo os locais mais degradados do país ? houve maior concentração de áreas degradadas em outras regiões da ASD, ao longo das últimas décadas ? Para responder a essa questão, o trabalho utiliza o IDT para analisar a dinâmica da degradação da terra nas ASD entre 2001 e 2021, avaliando as variáveis ambientais, climáticas e socioeconômicas dos núcleos tradicionais e propondo a identificação de novas áreas com níveis críticos de degradação.

1.1.OBJETIVOS

1.1.1.Objetivo geral

Investigar a evolução espaço-temporal da degradação da terra, no período de 2001 e 2021, nas ASD, considerando os fatores ambientais, sociais e climáticos.

1.1.2. Objetivos específicos

- Analisar os ND reconhecidos, a partir da dinâmica temporal do IDT;
- Identificar áreas com níveis críticos de degradação da terra nas ASD, com base na aplicação de critérios espaciais e quantitativos;
- Avaliar o comportamento espaço-temporal de variáveis ambientais e climáticas nos ND e nas áreas críticas identificadas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Degradação da terra e desertificação: arcabouço institucional e conceitual

A Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) constitui o principal marco institucional internacional voltado ao enfrentamento da desertificação e da degradação da terra (UNCCD, 1994). Sua criação foi impulsionada pelas discussões ocorridas durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992 (Rio-92), evento que gerou importantes desdobramentos nos campos científico, diplomático, político, social e da comunicação, exigindo uma compreensão específica a partir da realidade brasileira (Novaes, 1992).

Em resposta às pressões de países severamente afetados pela desertificação, sobretudo do continente africano, com apoio do Brasil, a UNCCD foi aprovada em 17 de junho de 1994, entrando em vigor em 1996 (Lima; Magalhães, 2016). A Convenção tem como objetivo central combater a desertificação e mitigar os efeitos da seca, adotando uma abordagem integrada que compreende a degradação da terra como um processo multifatorial, resultante da interação entre fatores climáticos, ambientais e socioeconômicos (UNCCD, 1994).

Atualmente, a UNCCD reúne 197 países, incluindo o Brasil, que ratificou a Convenção em 1997. A sua implementação é orientada pelas decisões tomadas no âmbito das Conferências das Partes (COP), com destaque para o Marco Estratégico 2018–2030, aprovado durante a COP 13. Esse documento estabelece objetivos voltados à neutralidade da degradação da terra, à melhoria das condições de vida das populações afetadas, à mitigação e à gestão dos efeitos da seca, bem como à articulação com outras agendas globais, como a mudança do clima, a conservação da biodiversidade e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 15, sendo um dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (Organização das Nações Unidas), focado em proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres até 2030 (UNCCD, 2018). Ao valorizar o conhecimento tradicional e incentivar a inclusão social nos processos decisórios, a Convenção busca fortalecer a resiliência das populações vulneráveis frente aos processos de degradação da terra e aos efeitos da seca (PAB-Brasil, 2025).

No contexto brasileiro, a degradação da terra configura-se como alguns dos mais graves problemas ambientais, especialmente em municípios do Nordeste (Sudene, 2025). A conjunção de fatores naturais, condicionados pela semiaridez acentuada e pela recorrência de

eventos de seca, associa-se a aspectos socioeconômicos e culturais relacionados ao uso inadequado dos recursos naturais, resultando na instabilidade dos sistemas ambientais (Silva, 2017).

A degradação da terra refere-se ao processo de redução da capacidade produtiva e funcional dos ecossistemas terrestres, podendo ocorrer em distintos contextos ambientais (UNCCD, 1994). A desertificação, por sua vez, constitui uma forma específica desse processo, restrita às regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, conforme definido pela UNCCD, 1994a, sendo resultante da interação entre variabilidades climáticas e ações antrópicas.

Nas últimas décadas, as regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas têm sido fortemente impactadas por mudanças climáticas, persistindo incertezas quanto à evolução futura da desertificação em um cenário de aquecimento global (Yang; Yang; Wang, 2023). Os processos associados à desertificação estão diretamente relacionados à redução dos níveis de precipitação, ao aumento da temperatura do ar e à elevação da evapotranspiração potencial, fatores que intensificam a degradação da terra e comprometem a sustentabilidade dos ecossistemas. As consequências desses processos manifestam-se de forma integrada, abrangendo dimensões ambientais, sociais e econômicas, com impactos diretos sobre a produção, a segurança alimentar e as condições de vida das populações afetadas (Montenegro, 2023; Zhou et al., 2021; Sterk; Stoorvogel, 2020).

2.2. Aridez

A aridez é uma condição climática associada à escassez de água, caracterizada pela baixa precipitação em relação à evapotranspiração potencial de uma região (CEMADEN, 2023). De acordo com Huang et al. (2016), a tendência é que essa condição se intensifique até o final do século, tornando as regiões afetadas ainda mais secas. Esse agravamento pode provocar mudanças climáticas significativas, como a transição de climas úmidos para climas mais secos, favorecendo o avanço da desertificação (Silva et al., 2023). Nesse contexto, o estudo da aridez torna-se fundamental para compreender a dinâmica climática e ambiental das regiões vulneráveis, permitindo antecipar cenários de risco, subsidiar o planejamento territorial e orientar estratégias de adaptação e mitigação frente às mudanças climáticas, sendo amplamente utilizado como indicador climático em avaliações ambientais globais (Middleton & Thomas, 1997).

Para medir e monitorar esse fenômeno, utiliza-se o Índice de Aridez (IA), que quantifica o nível de secura de uma área. Esse indicador permite identificar zonas com déficit hídrico, comprometendo atividades como a agricultura e a pecuária e podendo levar, a longo prazo, à degradação da terra e à desertificação (Standler, 1987). O IA é calculado pela relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, considerando médias em intervalos de tempo que variam do médio ao longo prazo, sendo recomendável um período mínimo de 30 anos para sua aplicação (Middleton; Thomas, 1997).

2.3. Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD)

A primeira definição das ASD e do seu entorno foi estabelecida pelo Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil). O objetivo principal foi promover o desenvolvimento de uma região marcada por sérios desafios sociais e produtivos, resultantes de uma trajetória de dificuldades ambientais, econômicas e políticas (MMA, 2005). As ASD foram definidas com base no IA, considerando-se como suscetíveis às regiões que possui valores inferior a 0,65, enquanto o entorno incluiu municípios atendidos por programas emergenciais relacionados à seca e aqueles inseridos no bioma Caatinga, totalizando 1.482 municípios, com cerca de 31,7 milhões de habitantes e uma área aproximada de 1.338.076 km² (Brasil, 2007).

Na América do Sul, os efeitos da desertificação afetam cerca de 10% do território, o que corresponde a aproximadamente 200 milhões de hectares, com tendência de agravamento nos próximos anos (Vergara et al., 2015). No Brasil, dados do do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) indicam um aumento da aridez em grande parte do território nacional, com expansão a taxas superiores a 75 km² por década, e as regiões cujo IA varia entre 0,05 e 0,65 são denominadas ASD (CEMADEN, 2023).

A partir de 2023, o MMA passou a reconhecer que a desertificação não é um problema restrito ao Nordeste, mas um fenômeno que afeta todo o território nacional. Nesse contexto, foi iniciado o desenvolvimento do Programa de Ação Brasileiro (PAB), que substitui o PAN-Brasil e amplia o escopo das ações de combate à desertificação em escala nacional. O PAB redefine as ASD como áreas que apresentam pelo menos 1% de sua extensão com IA inferior a 0,65, enquanto o entorno passa a abranger o Semiárido Brasileiro, conforme a delimitação da Sudene (Resolução Condell nº 176/2024). Atualmente, as ASD incluem 1.389 municípios, totalizando uma área de 1.329.094 km² e uma população de 29,6 milhões de

pessoas, enquanto o entorno compreende 260 municípios, com área de 184.893 km² e população de 9,4 milhões de habitantes (IBGE, 2024).

No território brasileiro, as áreas suscetíveis ao fenômeno da desertificação concentram-se predominantemente na Região Nordeste, especialmente no Semiárido, que apresenta características geoambientais favoráveis à ocorrência desse processo. Entre esses aspectos destacam-se a precipitação média baixa e irregular, a predominância de solos cristalinos e a presença de ecossistemas historicamente fragilizados pelas atividades econômicas desenvolvidas ao longo dos séculos. A adoção de práticas agropecuárias inadequadas, como queimadas e desmatamentos, intensifica as vulnerabilidades naturais, contribuindo para o agravamento da degradação dos solos (Brasil, 2004).

Os estudos sobre desertificação no Brasil ganharam relevância a partir das pesquisas de João Vasconcelos Sobrinho, considerado um dos pioneiros na temática. O autor selecionou seis áreas-piloto nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Bahia, onde já se observavam processos avançados de degradação da terra e da vegetação (Vasconcelos, 1983). Posteriormente, o MMA realizou visitas de campo, resultando na identificação de quatro áreas como núcleos críticos de desertificação: Gilbués/PI, Irauçuba/CE, Seridó/PB e Cabrobó/PE (Brasil, 2007). Quando essas áreas passaram a apresentar níveis elevados de degradação ambiental, passaram a ser denominadas ND (Salvador; Lima, 2021).

Atualmente, segundo o MMA, os ND incluem Seridó RN/PB, Cariris Velhos /PB, Inhamuns/CE, Gilbués/PI, Sertão Central/PE e Sertão do São Francisco/BA. Essas áreas caracterizam-se pela presença de extensas manchas de solo exposto, cobertura vegetal escassa ou inexistente e sinais evidentes de erosão. No entanto, estudos indicam a existência de outras áreas com características semelhantes que ainda não foram reconhecidas oficialmente como ND (Perez-Marin, 2012).

A análise da degradação da terra nas ASD é fundamental para compreender os processos que comprometem a sustentabilidade ambiental e socioeconômica dessas regiões. Além dos impactos ambientais, a degradação da terra afeta diretamente a vida das populações locais, refletindo-se na redução da produtividade, na escassez de recursos naturais e na piora das condições de vida, fatores que frequentemente resultam no êxodo das populações rurais (Andrade; Souza, 2024).

O monitoramento contínuo da degradação da terra permite identificar áreas de risco, avaliar os impactos das mudanças climáticas e subsidiar a implementação de estratégias de manejo adequadas. A integração de tecnologias de sensoriamento remoto e modelos espaciais tem se mostrado eficaz na detecção precoce de sinais de degradação, possibilitando ações preventivas mais eficientes (Alves et al., 2023).

2.4. Índice de Degradação da Terra (IDT) e variáveis ambientais e climáticas

O IDT foi adaptado à realidade brasileira a partir da integração de três sub indicadores propostos pela UNCCD: cobertura do solo, produtividade e carbono orgânico do solo. Essa abordagem combina produtos de sensoriamento remoto multitemporal com informações pedológicas nacionais, permitindo quantificar e mapear a degradação da terra de forma espacialmente explícita e em diferentes escalas temporais (PAB-Brasil, 2025).

A análise dos processos de degradação ambiental no Brasil, especialmente em regiões semiáridas, tem sido fundamentada na integração de variáveis (Vieira, 2015) no âmbito das ações relacionadas às ASD. Segundo Middleton e Thomas (1997), os processos de desertificação resultam da interação entre variabilidade climática e atividades antrópicas, sendo intensificados em regiões com limitações hídricas naturais.

A Temperatura de Superfície da Terra (*Land Surface Temperature - LST*) representa a resposta térmica da superfície aos processos de troca de energia e água no sistema (solo, vegetação e atmosfera), estando diretamente associada ao balanço de radiação, aos vfluxos de calor sensível e latente e às condições de umidade do solo e cobertura vegetal, desempenhando papel significativo em diversos processos climáticos e atmosféricos (Weng; Khan; Chatterjee, 2021). A LST é amplamente utilizada em estudos ambientais como indicador das alterações no balanço de energia e nas condições de cobertura da terra (Gamarra et al, 2014).

O Índice de Umidade por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Moisture Index- NDMI*) é empregado para estimar o conteúdo de água na vegetação, sendo sensível ao estresse hídrico característico das regiões semiáridas (Gao, 1996).

A precipitação constitui o principal elemento climático regulador dos ecossistemas do Semiárido brasileiro (Filho, 2019). Nesse contexto, estudos indicam (Marengo, 2008; Vicente-Serrano et al., 2010) que a irregularidade dos regimes pluviométricos e o aumento da

demanda atmosférica por água estão diretamente associados à intensificação de eventos de seca, contribuindo para a degradação ambiental em regiões áridas e semiáridas

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* - SAVI) tem sido amplamente aplicado em estudos no bioma Caatinga por minimizar a influência do solo exposto na estimativa da biomassa vegetal, sendo especialmente indicado para áreas com vegetação esparsa. Pesquisas realizadas em instituições brasileiras demonstram a eficiência do SAVI na detecção de mudanças na cobertura vegetal em ambientes semiáridos (Sá et al., 2010), contribuindo para a análise de processos de degradação.

No âmbito socioeconômico, o Produto Interno Bruto (PIB) é utilizado como indicador da dinâmica econômica e da intensidade das atividades produtivas. Dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023) possibilitam avaliar a relação entre crescimento econômico, uso da terra e pressões ambientais. O PAN-Brasil, 2004, apresenta que o avanço de atividades produtivas sem manejo adequado pode intensificar a exploração dos recursos naturais, contribuindo para a degradação da terra nas regiões semiáridas.

3. METODOLOGIA

Esta seção descreve os procedimentos metodológicos adotados para a condução da pesquisa, abrangendo a definição da área de estudo, a obtenção dos dados de degradação por meio do IDT desenvolvido pelo Observatório da Caatinga e Desertificação - OCA (Cunha, 2025), a identificação das áreas críticas e as análises espaciais e multitemporal. A abordagem metodológica foi baseada em técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e análise espacial, com o intuito de identificar padrões e intensidades da degradação nas ASD. A Figura 1 ilustra e facilita a compreensão do percurso metodológico adotado.

Figura 1 - Fluxograma do processo metodológico adotado na pesquisa



Fonte: Autoria própria (2026).

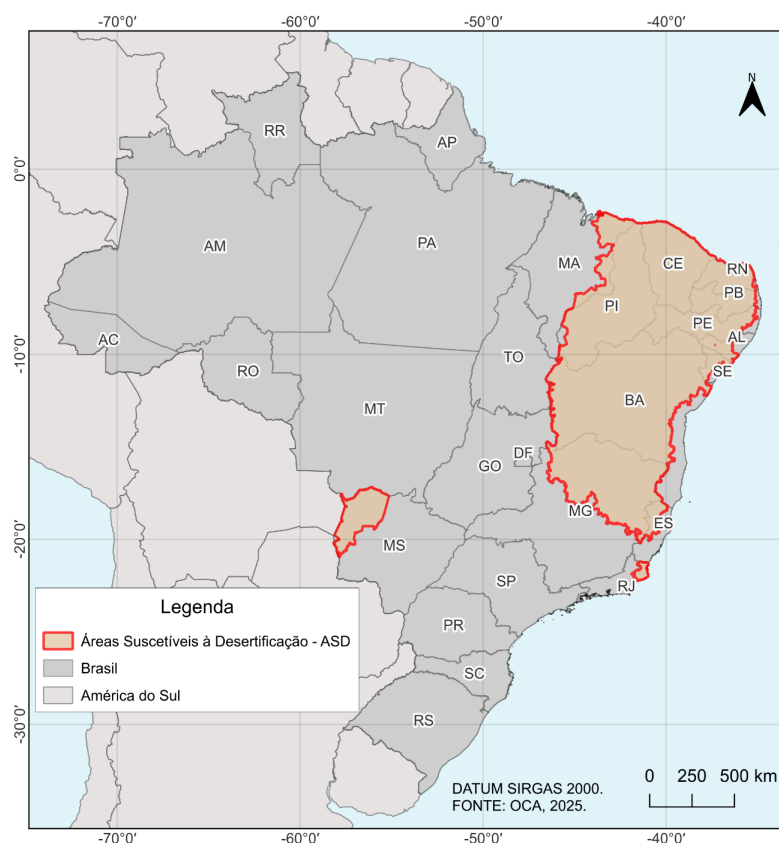
Com a definição das etapas e procedimentos, a metodologia adotada proporcionou uma integração entre dados ambientais, climáticos e informações socioeconômicas, permitindo uma análise abrangente da dinâmica da degradação da terra ao longo do tempo. A utilização de técnicas de geoprocessamento no software QGIS Desktop 3.44.0, associada à aplicação do IDT, viabilizou a geração de mapas temáticos e análises comparativas que possibilitaram identificar regiões com níveis mais altos de degradação da terra, sendo concentrado em alguns municípios entre 2001 e 2021. Essa abordagem não apenas permitiu compreender a evolução espacial e temporal do processo, mas também forneceu subsídios técnicos para a proposição de estratégias de mitigação e recuperação ambiental direcionadas

às áreas mais afetadas. Dessa forma, a metodologia empregada garantiu a consistência dos resultados e a relevância das conclusões obtidas, alinhando-se aos objetivos centrais da pesquisa.

3.1. Área de estudo

A área de estudo abrange as Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD) (Figura 2), totalizam 1.329.094 km², abrangem 1.649 municípios e concentram uma população estimada em 29,6 milhões de habitantes (PAB-Brasil, 2025). Entre 2000 e 2020, a extensão das ASD aumentou em aproximadamente 170 mil km², representando um aumento aproximado de 12,79%, passando a se distribuir principalmente na região Nordeste, além de porções do Sudeste e do Centro-Oeste do Brasil (Sudene, 2025).

Figura 2 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autoria própria (2026).

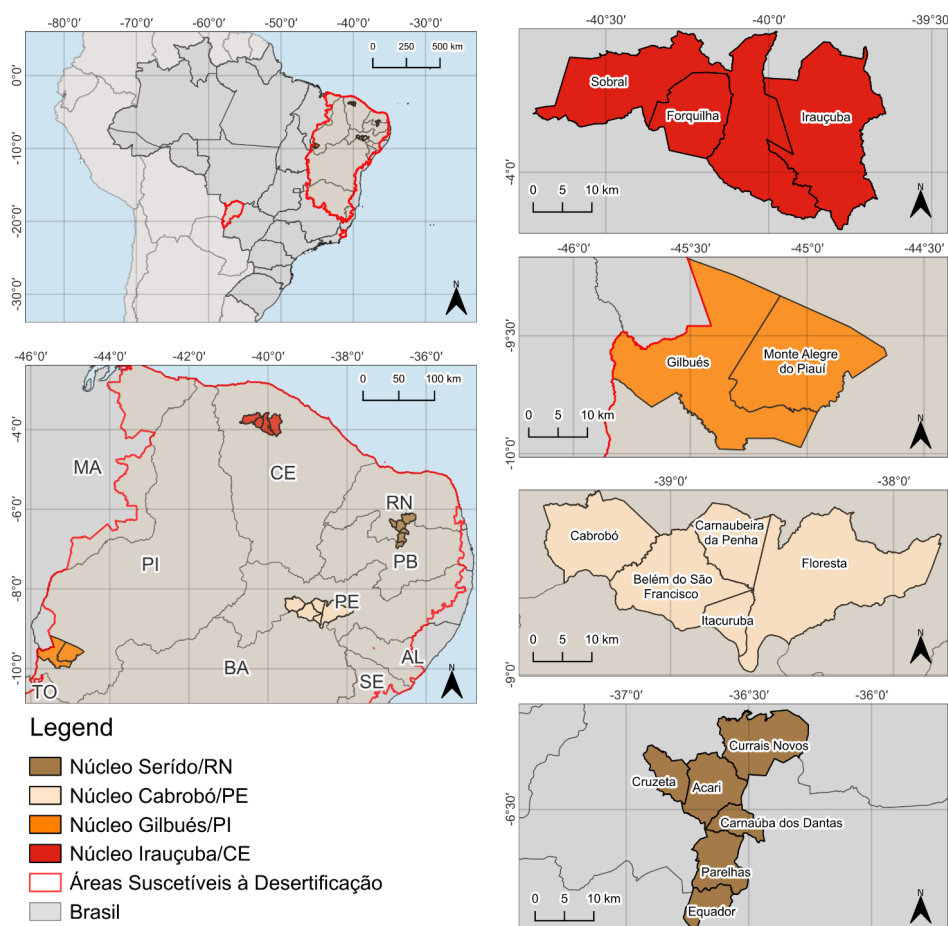
As ASD englobam diferentes biomas brasileiros, refletindo a diversidade ambiental das áreas afetadas pela degradação da terra. A Caatinga é o bioma predominante, ocupando cerca de 64,4% da área total, seguida pelo Cerrado (26,7%). A Mata Atlântica (4,2%) e o

Pantanal (12,1%) também estão presentes, embora de forma mais restrita. Esses dados evidenciam que, embora historicamente associada ao semiárido nordestino, a desertificação afeta distintos biomas e regiões do país, com diferentes níveis de vulnerabilidade ambiental (PAB-Brasil, 2025)

3.2. Núcleos de Desertificação (ND)

Os ND oficialmente reconhecidos pelo MMA estão inseridos dentro das ASD e são apresentados na Figura 3, que ilustra a localização dos núcleos em diferentes escalas, destacando as ASD, a delimitação dos municípios analisados, os quais constituem a base territorial utilizada neste estudo. Os ND analisados localizam-se em quatro estados: Rio Grande do Norte, Piauí, Pernambuco e Ceará.

Figura 3 - Localização dos ND.



Fonte: Autoria própria (2026).

Um das análises realizadas neste estudo foram a análise dos quatro ND, sendo eles: Gilbués/PI, Irauçuba/CE, Seridó/RN e Cabrobó/PE, todos apresentados na Tabela 1, com seus

respectivos municípios, área urbana, rural e o total, todos sendo do ano de 2022 (Brasil, 2007).

Tabela 1 - Caracterização dos municípios que fazem parte dos ND.

Município/Núcleo	Área (km ²)	População em 2000 (habitantes)		
		Rural	Urbana	Total população
<i>Gilbués/ PI</i>	5,912,86	13,266	7,193	20,459
Monte Alegre do Piauí	3,495,01	5,708	4,521	10,229
Gilbués	2,417,85	7,558	2,672	10,23
<i>Irauçuba/CE</i>	4,101,18	35,324	157	192,324
Irauçuba	1,461,22	8,687	10,873	19,56
Sobral	2,122,98	20,768	134,508	155,276
Forquilha	516,98	5,869	11,619	17,488
<i>DH Seridó/RN</i>	2,792,39	16,361	75,312	91,673
Acari	608,56	2,348	8,841	11,189
Carnaúba dos Dantas	245,64	1,537	5,035	6,572
Cruzeta	295,82	2,161	5,977	8,138
Currais Novos	864,34	5,262	35,529	40,791
Equador	264,98	1,34	4,324	5,664
Parelhas	513,05	3,713	15,606	19,319
<i>Cabrobó/PE</i>	8,573,02	38,277	47,474	85,751
Belém do São Francisco	1,830,80	8,405	11,803	20,208
Cabrobó	1,658,07	10,972	15,769	26,741
Carnaubeira da Penha	1,010,17	9,282	1,122	10,404
Floresta	3,643,97	9,182	15,547	24,729
Itacuruba	430,01	463	3,233	3,669
<i>Total</i>	21,379,45	103,228	286,979	390,207

Fonte: Adaptado de Brasil (2007).

Os dados populacionais utilizados referem-se ao ano de 2022 e apresentam a distribuição da população rural e urbana (km²) nos núcleos analisados, em valores absolutos e percentuais. No total, os núcleos de Gilbués/PI, Irauçuba/CE, Seridó/RN e Cabrobó/PE somam 462.585 habitantes e correspondiam a aproximadamente 0,27%, dos quais 110.621 correspondem à população residente em áreas rurais, representando 23,9% do total, enquanto 351.964 habitantes residem em áreas urbanas, equivalentes a 76,1%.

Entre os núcleos analisados, observa-se maior contraste nos casos extremos de distribuição populacional. O núcleo de Irauçuba/CE concentra o maior contingente populacional total, com 251.012 habitantes, além de apresentar também a maior população urbana, com 211.551 habitantes (84,3% do total). Em contrapartida, o núcleo de Cabrobó/PE se destaca por possuir a maior população rural em termos absolutos, com 41.720 habitantes (43,8%), evidenciando um perfil menos urbanizado quando comparado aos demais. Esses cenários extremos revelam diferenças significativas na dinâmica demográfica entre os núcleos de desertificação analisados.

Embora os ND sejam apresentados como referência espacial inicial da área de estudo, a unidade de análise adotada nesta pesquisa é o município. Essa opção metodológica permite avaliar a degradação da terra de forma padronizada, integrar informações ambientais, climáticas e socioeconômicas disponíveis nessa escala e analisar, de maneira objetiva, os núcleos consolidados e as áreas com níveis críticos de degradação identificadas neste estudo. Dessa forma, os núcleos são analisados não como unidades fechadas, mas como recortes territoriais de referência para a avaliação da coerência espacial dos processos de degradação.

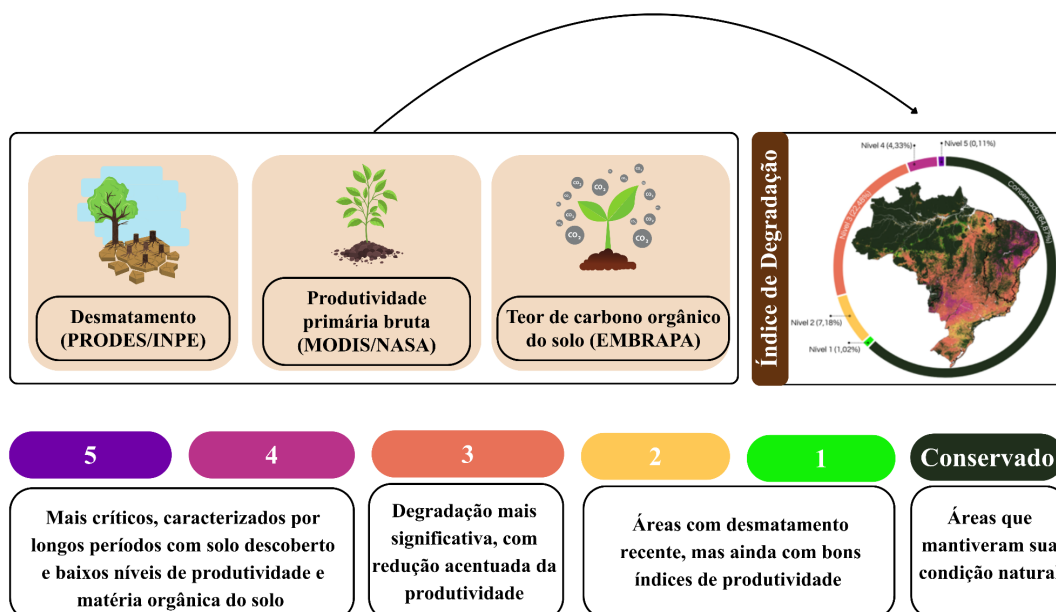
3.3. Obtenção dos dados

3.3.1. Índice de degradação da terra (IDT)

Os dados de degradação da terra foram obtidos por meio do IDT, desenvolvido pelo OCA, vinculado à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no âmbito da elaboração do Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (Cunha et al., 2025; PAB-Brasil, 2025). O IDT foi concebido para caracterizar a situação da degradação da terra no Brasil e subsidiar ações de planejamento e políticas públicas.

Para a elaboração do índice, foram utilizados produtos de sensoriamento remoto que integram três componentes principais: (i) desmatamento, obtido a partir dos dados do Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES); (ii) produtividade primária bruta, derivada de dados do sensor MODIS; e (iii) teor de carbono orgânico do solo, baseado em levantamentos da Embrapa (Figura 4).

Figura 4 - Ilustração da integração dos produtos para elaboração do IDT.



Fonte: OCA, 2025.

Esses dados foram processados para os anos de 2001 e 2021, a escolha desses anos se justifica pela disponibilidade dos dados de teor de carbono orgânico do solo, foram integrados para gerar cenários com cinco níveis distintos de degradação da terra, além de uma categoria adicional chamada “conservado”. Os níveis 1 e 2 correspondem a estágios iniciais do processo de degradação da terra, nos quais os impactos ambientais começam a se manifestar, mas ainda não comprometem de forma expressiva as funções ecológicas do solo e da vegetação. O nível 3 representa uma condição intermediária, caracterizada por degradação mais evidente, com redução moderada da cobertura vegetal e sinais de comprometimento da produtividade e da qualidade do solo. Já os níveis 4 e 5 indicam as áreas em situação mais crítica, marcadas por elevado comprometimento ambiental, baixa ou muito baixa produtividade e acentuada redução do teor de matéria orgânica no solo, o que compromete gravemente a capacidade de suporte dos ecossistemas e aumenta a vulnerabilidade socioambiental dessas regiões (Cunha et al., 2025).

3.3.2. Variáveis ambientais e climáticas

A análise da degradação da terra e de sua relação com variáveis ambientais e climáticas permite representar, de forma integrada, as condições da superfície terrestre, da cobertura vegetal e da disponibilidade hídrica ao longo do tempo, uma vez que esses elementos refletem a interação entre fatores biofísicos e climáticos que condicionam a

dinâmica dos ecossistemas terrestres (Reynolds et al., 2007; UNCCD, 2017; Sims et al., 2021).

Neste estudo, as variáveis ambientais e climáticas analisadas foram derivadas de imagens das séries Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+) e Landsat 8 (OLI/TIRS), disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS), com resolução espacial de 30 m. O processamento dessas séries temporais foi realizado na plataforma *Google Earth Engine* (GEE), utilizando algoritmos de conversão de radiância para reflectância no topo da atmosfera e calibração radiométrica, conforme os métodos consolidados por Liang (2001). Para garantir a consistência espacial e a comparabilidade dos produtos Landsat ao longo do tempo, adotou-se a lógica de mapeamento operacional de Chen et al. (2014).

As variáveis selecionadas para caracterizar a superfície foram: *Land Surface Temperature* (LST), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) e o *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI). Essas informações foram associadas a dados de precipitação provenientes do produto *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS), com resolução temporal diária e espacial de aproximadamente 5 km (Tabela 2).

Tabela 2 - Variáveis Ambientais e climáticas utilizadas.

Variável	Tipo	Satélite / Sensor	Resolução Espacial/ Temporal
<i>Land Surface Temperature</i> (LST)	Climática	Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+), Landsat 8 (OLI/TIRS)	30 m/ 16 dias
Precipitação (CHIRPS)	Climática	Vários satélites/ infravermelho + estações	~5 km / diária
<i>Normalized Difference Moisture Index</i> (NDMI)	Ambiental	Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+), Landsat 8 (OLI/TIRS), Landsat 9 (OLI-2/TIRS-2)	30 m / 16 dias
<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i> (SAVI)	Ambiental	Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+), Landsat 8 (OLI/TIRS)	30 m / 16 dias

Fonte: Autoria própria (2026).

3.3.2.1. *Land Surface Temperature* (LST)

A LST foi utilizada como indicador do balanço energético da superfície terrestre, sendo sensível à redução da cobertura vegetal e ao aumento da exposição do solo. A LST foi estimada a partir da banda termal dos sensores Landsat 5, 7 e 8, seguindo os procedimentos padrão de conversão de radiância espectral para temperatura de brilho e, posteriormente, para temperatura de superfície.

Conversão da radiância espectral em temperatura de brilho (sensor Landsat):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right)} \quad (1)$$

A Equação 1 converte a radiação registrada pelo sensor termal em temperatura de brilho, etapa fundamental para o cálculo da temperatura de superfície. Para conversão de temperatura de brilho para de superfície utiliza a seguinte fórmula:

$$T_s = \frac{T_b}{1 + (\lambda \times T_b / \rho) \ln(\varepsilon)} \quad (2)$$

Onde: ε = emissividade da superfície (0–1), λ = comprimento de onda efetivo da banda térmica, $\rho = 1,438 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$. Após a obtenção da temperatura de superfície em Kelvin, os valores foram convertidos para graus Celsius por meio da subtração de 273,15, conforme apresentado a seguir:

Conversão de Kelvin para graus Celsius:

$$TS(^{\circ}\text{C}) = TS(\text{K}) - 273,15 \quad (3)$$

Onde: $TS(^{\circ}\text{C})$ = Temperatura de Superfície em graus Celsius; T_s = temperatura de superfície em Kelvin; 273,15 = fator de conversão de Kelvin para Celsius. Essa conversão permite a comparação direta dos valores de temperatura entre diferentes sensores e períodos temporais.

3.3.2.2. *Normalized Difference Moisture Index (NDMI)*

O NDMI foi empregado para avaliar a umidade da vegetação e do solo. Esse índice é calculado a partir da razão normalizada entre as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR), explorando a sensibilidade espectral dessas bandas ao conteúdo de água presente na vegetação (Gao, 1996; Xu, 2006).

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (4)$$

Onde, NDMI = Normalized Difference Moisture Index; NIR= reflectância da banda do infravermelho próximo (Near Infrared); SWIR = reflectância da banda do infravermelho de ondas curtas (Shortwave Infrared).

O NIR é altamente refletido por vegetação saudável, pois está associado à estrutura celular das folhas, o SWIR é sensível ao conteúdo de água da vegetação e do solo, apresentando menor reflectância quando a umidade é elevada. Valores elevados de NDMI indicam maior umidade da vegetação e do solo, enquanto valores baixos ou negativos refletem estresse hídrico e condições típicas de áreas degradadas.

3.3.2.3. *Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)*

O SAVI foi utilizado com o objetivo de minimizar a influência do brilho do solo na estimativa da biomassa vegetal, condição comum em ambientes semiáridos e degradados. Diferentemente de outros índices de vegetação, o SAVI incorpora um fator de correção que reduz os efeitos do solo exposto, tornando-o mais adequado para áreas com cobertura vegetal esparsa (Huete, 1988).

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \times (1 + L) \quad (5)$$

Onde: SAVI = Soil Adjusted Vegetation Index; NIR = reflectância da banda do infravermelho próximo; RED = reflectância da banda do vermelho; L = fator de correção do brilho do solo (adotado neste estudo como L=0,5).

A banda RED é fortemente absorvida pela clorofila durante a fotossíntese, a banda NIR é refletida pela estrutura interna da vegetação e o fator L reduz a influência do solo exposto, tornando o índice mais adequado para áreas com baixa densidade vegetal, como regiões semiáridas. Valores baixos de SAVI indicam vegetação esparsa ou solo exposto, enquanto valores mais elevados refletem maior cobertura vegetal.

3.3.2.4. Precipitação (CHIRPS)

As variáveis biofísicas foram integradas a dados de precipitação provenientes do produto *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS), que combina estimativas por sensoriamento remoto e observações de estações meteorológicas, com resolução temporal diária e espacial aproximada de 5 km (Funk, 2015). Embora os dados de precipitação não envolvam uma equação espectral específica, sua análise foi fundamental para interpretar a resposta da vegetação e da temperatura de superfície às variações climáticas.

Organização das séries temporais

Os dados das variáveis ambientais e climáticas foram processados para gerar séries temporais anuais no período de 1985 a 2024, a partir do cálculo da média anual de cada variável. Essa abordagem permitiu a análise de tendências de longo prazo e da variabilidade interanual ao longo de quase quatro décadas.

A análise foi realizada tanto para os ND quanto para as áreas com níveis críticos de degradação da terra identificadas com base no IDT. Após o processamento no GEE, os dados foram exportados para o ambiente Google Colab, onde foram realizadas análises temporais e exploratórias, bem como a elaboração de gráficos utilizando a linguagem Python.

3.4. Identificação das áreas com níveis críticos de degradação da terra

A identificação das áreas com níveis críticos foi realizada com base no IDT, priorizando as áreas que apresentaram condições mais avançadas de degradação. Para essa etapa, adotou-se a escala municipal como unidade de análise, considerando exclusivamente os municípios enquadrados nos níveis 4 e 5 de acordo com o IDT, que representam os estágios mais críticos do processo de degradação da terra.

A escolha do município como unidade analítica justifica-se pela maior disponibilidade, padronização e consistência de indicadores socioeconômicos, ambientais

nessa escala, como dados de renda e indicadores econômicos (Junior; Perreira, 2023). Além disso, essa abordagem é compatível com a metodologia adotada no Atlas da Áreas Suscetíveis à Desertificação do Brasil (Brasil, 2007), no qual os ND foram definidos a partir do agrupamento de municípios por estado. Essa opção metodológica favorece a integração entre variáveis ambientais e socioeconômicas, permitindo comparações espaciais e temporais mais consistentes, bem como a identificação de padrões e relações entre degradação da terra e condições de vida das populações locais.

Com base nos valores do IDT para os anos de 2001 e 2021, os municípios foram classificados e analisados na seguinte ordem:

1. Dinâmica dos núcleos de desertificação;
2. Permaneceram degradados (degradados em 2001 e 2021);
3. Evoluíram (não degradados em 2001, degradados em 2021);
4. Conjunto total dos degradados;
5. Municípios com $\geq 30\%$ da área degradada em 2021;
6. Áreas com níveis críticos de degradação da terra;
7. Análise visual dos ND e das áreas com níveis críticos.

Inicialmente, foi analisada a dinâmica dos ND, quanto à distribuição espacial dos níveis de degradação, a fim de verificar variações nas áreas classificadas como críticas ao longo do período analisado. Em seguida, os municípios foram classificados em três grupos: (i) municípios que permaneceram degradados em ambos os anos; (ii) municípios que evoluíram para níveis críticos; e (iii) o conjunto total de municípios em estágio crítico, resultante da integração dos dois grupos anteriores.

Os municípios que tiveram $\geq 30\%$ de sua área total nesses níveis foram selecionados, com base na análise do histograma da distribuição dos percentuais de área degradada. A partir desse procedimento, foram identificadas áreas com níveis críticos, posteriormente analisadas visualmente aos ND definidos pelo Atlas da Desertificação (Brasil, 2007).

3.4.1. Municípios permaneceram degradados

Para aprofundar a análise e compreender com maior precisão a dinâmica da degradação da terra, utilizou-se, como base, os dados de transição obtidos a partir da sobreposição dos mapas temáticos de 2001 e 2021. A primeira etapa consistiu na filtragem

dos municípios que mantiveram os níveis críticos 4 e 5 em ambos os anos, representando regiões que permaneceram sob forte pressão ambiental ao longo das duas décadas. Essa seleção foi realizada no software QGIS, por meio da técnica de estatística zonal, a qual permite associar valores de degradação a unidades territoriais específicas, neste caso, municípios e assim identificar espacialmente as áreas de maior persistência do problema. A análise dessas regiões possibilitou destacar áreas prioritárias para intervenções, uma vez que a degradação prolongada está diretamente associada à perda de produtividade, redução da cobertura vegetal e comprometimento dos atributos físicos e químicos do solo.

3.4.2. Municípios que evoluíram para níveis críticos

Na sequência, visando complementar o diagnóstico, foi conduzida uma segunda filtragem voltada à identificação dos municípios que evoluíram para os níveis 4 e 5 no intervalo analisado. Essa abordagem teve como objetivo localizar novas regiões que, inicialmente, apresentavam degradação moderada ou baixa, mas que, ao longo do tempo, avançaram para níveis críticos. Assim como na etapa anterior, o procedimento foi executado por meio da estatística zonal no QGIS, permitindo isolar e mapear espacialmente essas áreas emergentes. A identificação desses novos focos de degradação é fundamental para orientar estratégias de prevenção e conter a expansão do processo degradativo, além de subsidiar a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação e recuperação ambiental.

3.4.3. Conjunto total dos municípios com área degradada

O conjunto dos municípios que permaneceram degradados e os que tornaram-se degradados foi realizada a integração dos municípios que mantiveram os níveis críticos de degradação da terra (níveis 4 e 5) ao longo de todo o período analisado com aqueles que evoluíram para esses mesmos níveis entre 2001 e 2021. Essa etapa metodológica teve como objetivo ampliar o escopo da análise, garantindo que tanto as áreas que historicamente já apresentavam elevada degradação quanto aquelas que recentemente atingiram esse estágio fossem contempladas no estudo.

A junção dessas duas categorias possibilitou uma visão mais abrangente da distribuição espacial da degradação em estágio crítico, favorecendo a identificação de padrões e tendências no avanço do processo. Além disso, essa abordagem assegura que nenhuma área com comprometimento ambiental significativo seja negligenciada, permitindo direcionar com

maior precisão ações de recuperação, mitigação e políticas públicas específicas voltadas ao manejo sustentável do território.

3.4.4. Áreas com níveis críticos de degradação

Após a conclusão do procedimento de seleção e análise dos municípios, estabeleceu-se como critério que aqueles que apresentassem percentual igual ou superior a 30% de sua área total em estágio de degradação da terra fossem considerados prioritários. Esse limiar foi definido a partir da análise do histograma da distribuição dos percentuais de área degradada, que evidenciou um ponto de inflexão associado à concentração espacial da degradação.

A adoção desse critério possibilitou a identificação de regiões em condição crítica, nas quais a degradação da terra atinge proporções capazes de comprometer não apenas a produtividade e a qualidade dos recursos naturais, mas também as condições de vida da população residente. Dessa forma, esses municípios foram classificados como prioritários para o direcionamento de ações estratégicas voltadas à recuperação ambiental, mitigação dos impactos e promoção do desenvolvimento sustentável.

Para a identificação das áreas com níveis críticos de degradação da terra, foram utilizados como referência os núcleos definidos pelo Atlas da Desertificação, os quais correspondem a agrupamentos de municípios por estado considerados pontos focais do processo de desertificação no Semiárido brasileiro (BRASIL, 2007). Assim, as áreas com níveis elevados de degradação foram delimitadas a partir da integração dos municípios que apresentaram percentual igual ou superior a 30% de sua área municipal degradada, sendo posteriormente agrupados conforme sua unidade federativa, em procedimento análogo ao adotado pelo referido Atlas.

A partir da delimitação dessas áreas, realizou-se uma investigação mais aprofundada por meio da análise de indicadores ambientais e climáticos, tanto nos núcleos de desertificação quanto nas áreas com níveis críticos identificados. Foram considerados como indicadores ambientais o NDMI e o SAVI, enquanto, entre os indicadores climáticos, destacam-se a LST e a precipitação. A análise conjunta dessas variáveis possibilita a comparação entre padrões históricos e atuais, contribuindo para uma melhor compreensão dos fatores associados à dinâmica da degradação em cada região.

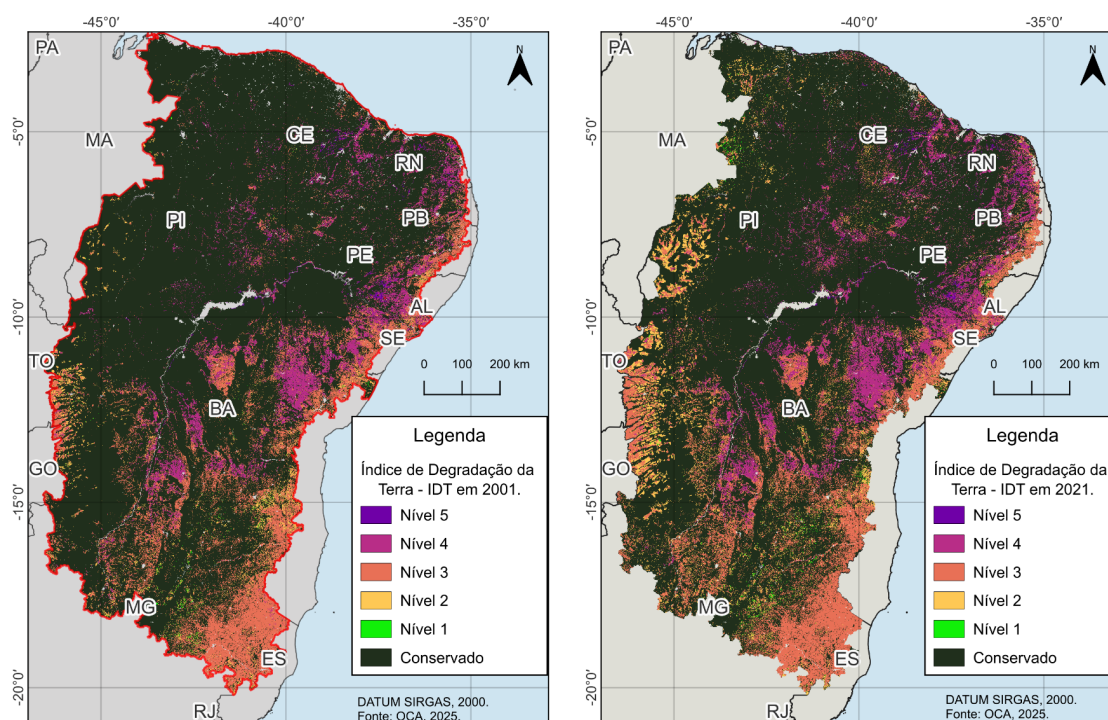
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o objetivo de identificar e analisar a degradação da terra nas ASD, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, esta seção apresenta os resultados obtidos, organizados em seis partes: (i) mapas temáticos; (ii) dinâmica dos núcleos; (iii) permaneceram degradados; (iv) evoluíram para níveis críticos; (v) conjunto total dos degradados; (vi) áreas com níveis críticos; (vii) análise visual dos ND e das áreas com níveis críticos.

4.1. Mapas temáticos

A elaboração dos mapas temáticos utilizando o IDT permitiu realizar uma análise visual comparativa entre os anos de 2001 e 2021, evidenciando mudanças no processo de degradação da terra na região das ASD, revelando que a degradação não é um processo estático, mas sim uma frente em constante expansão (Figura 5).

Figura 5 - Mapas temáticos da degradação.



Fonte: Autoria própria (2026).

No ano de 2001, observa-se a presença de manchas extensas nos níveis 4 e 5, principalmente nos estados da Bahia, Pernambuco e Paraíba. Essas áreas já apresentavam

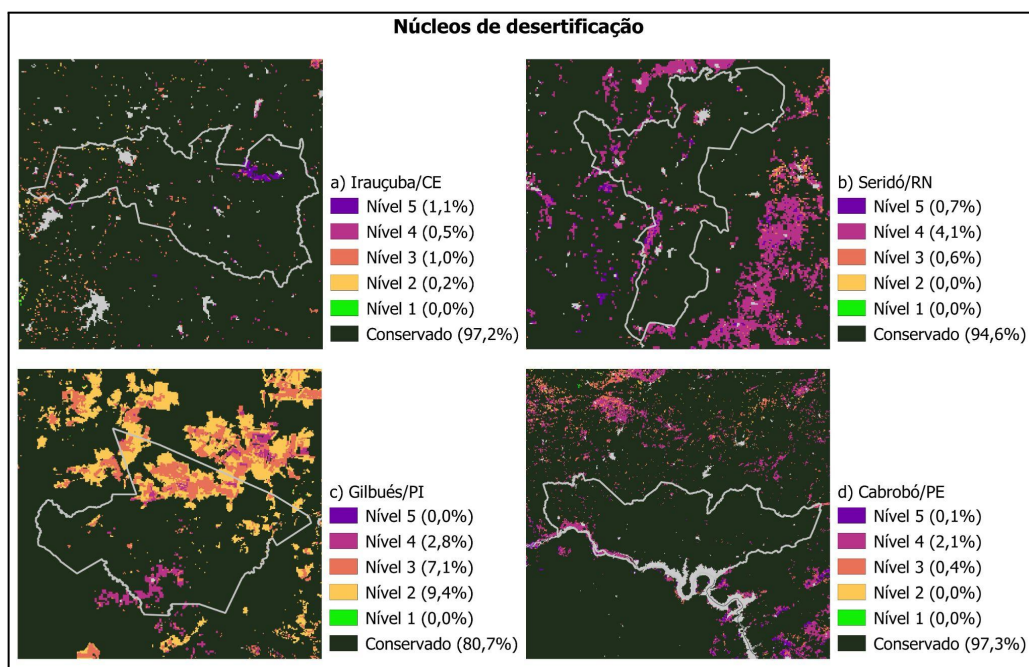
elevado grau de comprometimento ambiental, caracterizado por baixa produtividade e forte redução da cobertura vegetal. Apesar disso, ainda se verificava a predominância de áreas conservadas e em estágios iniciais de degradação (níveis 1 e 2) em grande parte da área de estudo, especialmente em regiões centrais e de transição.

Em 2021, os resultados indicam um avanço considerável da degradação, sobretudo no interior da Bahia e em porções significativas de Pernambuco, Ceará e Piauí. As áreas classificadas nos níveis 4 e 5 se expandiram, indicando que, ao longo de 20 anos, ocorreu um avanço do processo, com a transição de áreas anteriormente em níveis intermediários (nível 3) para condições mais críticas.

4.2. Dinâmica dos Núcleos de Desertificação (ND)

A análise do IDT para os anos de 2001 e 2021 indica estabilidade dos níveis de degradação em três dos quatro ND analisados (Figura 6). Os núcleos de Irauçuba/CE, Seridó/RN e Cabrobó/ PE mantiveram predominância da classe conservada, com valores superiores a 80%, destacando-se Cabrobó, onde essa classe alcança 97,3%.

Figura 6 - IDT nos Núcleos de desertificação.



Fonte: OCA, 2025.

Os resultados do IDT são coerentes com os dados de uso e cobertura da terra do IBGE (2000–2020), que não indicam alterações significativas na vegetação natural nesses

territórios. Nesse contexto, a elevação dos percentuais de áreas conservadas (97,3%) no núcleo de Cabrobó pode estar relacionada, ao menos em parte, à existência de iniciativas de pesquisa e recuperação ambiental voltadas à conservação da Caatinga.

Em contraste, o Núcleo de Gilbués/PI apresentou redução da classe conservada em relação aos demais núcleos com 80,7% da vegetação natural, 9,4% está no nível 3 especialmente nas porções norte e central, refletindo o avanço dos níveis intermediários de degradação, esse comportamento está associado, principalmente, à expansão das atividades agrícolas. Estudo realizado por Silva (2016) no núcleo de Gilbués, ao analisar a dinâmica da cobertura e do uso do solo, evidenciou a diminuição das áreas revestidas por vegetação densa, progressivamente substituídas pela implementação de atividades agrícolas.

No sul do Piauí, os processos de desertificação resultam da interação entre condicionantes geológicos e ações antrópicas, com destaque para a expansão da agricultura e da pecuária em áreas de encosta, bem como para a extração de diamantes em leitos fluviais, fatores que intensificam a degradação da terra (Perez-Marin, 2012).

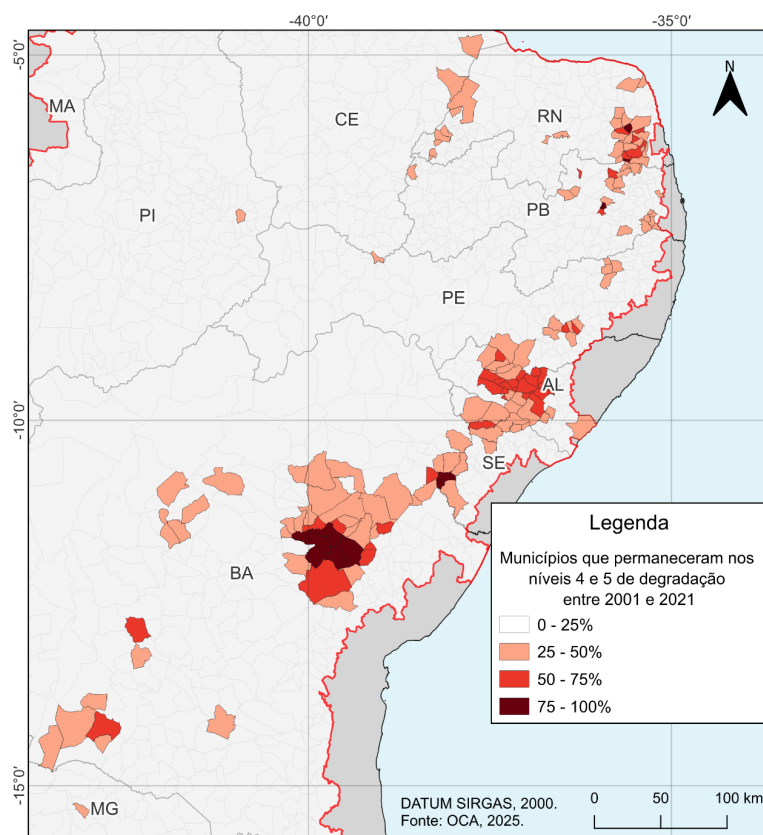
4.3. Identificação das áreas com níveis críticos de degradação

4.3.1. Análise dos municípios que permaneceram nos níveis 4 e 5

Para a identificação das áreas com níveis críticos de degradação da terra, foi realizado análises para entender como esteve a degradação entre 2001 e 2021, sendo a seleção dos municípios que permaneceram nos níveis críticos, pois estes representam que a desertificação daquela área já é considerada crítica, de acordo com o IDT. A classificação em intervalos percentuais (0-25%, 25-50%, 50-75% e 75-100%) representa a proporção da área municipal que se manteve em estágio crítico de degradação durante o período analisado.

Foram identificados 166 municípios que permaneceram degradados em 2021, com maior concentração nos estados da Bahia (54 municípios), Rio Grande do Norte (34) e Alagoas (28). Conforme observado na Figura 7, destaca-se uma expressiva concentração desses municípios no interior do estado da Bahia, evidenciando a recorrência de áreas que permaneceram nos níveis mais elevados de degradação.

Figura 7 - Municípios que permaneceram degradados.



Fonte: Autoria própria (2026).

Nesse contexto, estudos desenvolvidos em municípios baianos contribuem para a interpretação dos padrões observados. Souza (2024), ao analisar o município de São Félix/BA, aponta que a persistência da degradação ao longo do tempo está associada à intensa pressão ambiental, decorrente principalmente da pastagem seguida da agricultura, além da expansão significativa do agronegócio, que tem avançado inclusive sobre áreas de proteção ambiental (APPs). Em escala mais ampla, pesquisas indicam que, entre 1985 e 2015, ocorreu uma expressiva conversão da vegetação nativa no estado da Bahia, com a substituição de aproximadamente 21.700 km² por áreas destinadas ao cultivo de *commodities* agrícolas voltadas ao mercado internacional, cuja área produtiva apresentou expansão em torno de 385% (Ferreira, 2021).

Resultados apresentados na literatura fornecem subsídios importantes para a compreensão dos processos em curso no território baiano. Estudos conduzidos em diferentes municípios indicam que a expansão da agropecuária, especialmente da pastagem, tem ocorrido de forma recorrente sobre áreas anteriormente ocupadas por vegetação nativa (Sena,

2023). Nesse cenário, observa-se que os municípios que apresentam proporções intermediárias de área degradada, entre 25% e 50%, distribuem-se de forma mais dispersa no território, conforme evidenciado no mapa.

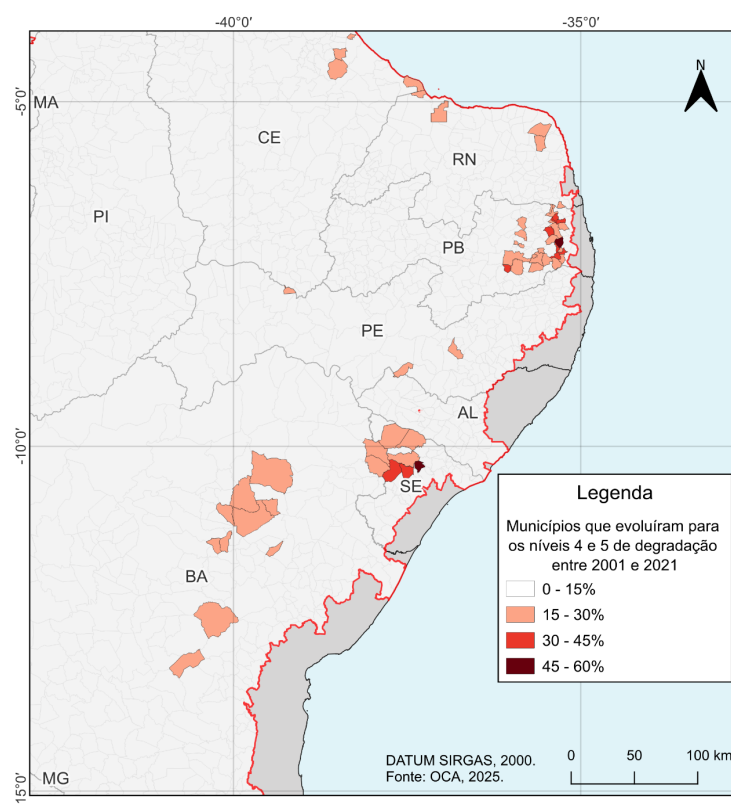
De modo geral, a análise das áreas que permaneceram em níveis elevados entre 2001 e 2021 revela que um número expressivo de municípios apresentou persistência da degradação da terra ao longo do período analisado. Esse padrão sugere que processos associados à pastagem seguida da agricultura, aliados à fragilidade ambiental, atuam de forma recorrente em diferentes contextos territoriais. Assim, os resultados dialogam com evidências previamente documentadas na literatura (Silva, 2016; Ferreira, 2021; Sena, 2023; Souza, 2024), reforçando a interpretação de que pressões antrópicas contínuas dificultam a reversão dos níveis críticos de degradação nos municípios identificados.

4.3.2. Avaliação dos municípios que evoluíram para os níveis 4 e 5

Os municípios que evoluíram para os níveis críticos de degradação da terra traz um recorte ampliado da área de estudo, permitindo uma visualização mais detalhada da distribuição espacial desse avanço. A Figura 8 mostra com maior clareza os municípios que apresentaram crescimento significativo da degradação ao longo do período analisado, destacando áreas onde o processo se intensificou de forma mais expressiva. As classes de cores representam o percentual do território municipal que passou a integrar os níveis críticos, organizadas em intervalos de 0-15%, 15-30%, 30-45% e 45-60%, o que possibilita identificar gradientes de severidade e comparar a magnitude do avanço da degradação entre os diferentes municípios.

Os resultados revelam a formação de agrupamentos de municípios com aumento da degradação da terra em diferentes regiões das ASD, totalizando 59 municípios. Destaca-se o estado da Paraíba, que concentra 29 municípios nessa condição, seguido pela Bahia, com 12 municípios afetados. Esse padrão espacial sugere a atuação de fatores ambientais e climáticos regionais que contribuem para a intensificação da degradação da terra nesses territórios.

Figura 8 - Municípios que evoluíram para níveis críticos.



Fonte: Autoria própria (2026).

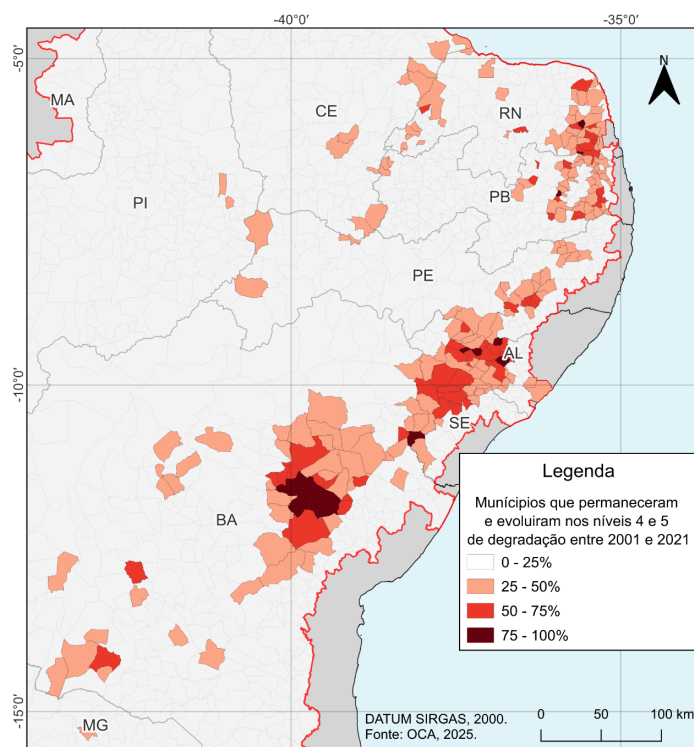
Além disso, a maior parte dos municípios apresentou crescimento de até 30% da área degradada; entretanto, alguns ultrapassaram esse percentual, alcançando faixas entre 30–45% e até 45–60%, indicando um avanço mais expressivo e preocupante do processo de degradação da terra. Em conjunto, essas análises evidenciam que o aumento da degradação observado nos municípios das ASD está relacionado à combinação de extremos climáticos, redução da cobertura vegetal da Caatinga e intensificação das pressões antrópicas, em consonância com os resultados apontados pelos estudos citados, reforçando a complexidade e a persistência do processo de desertificação nessas regiões (Viera, 2015; Silva, 2016; Ferreira, 2021; Sena, 2023; Souza, 2024).

4.3.3. Análise dos municípios que permaneceram e evoluíram para os níveis 4 e 5

Os municípios que permaneceram ou passaram para os níveis críticos entre o período analisado, estão representados na Figura 9. A escala varia de 0–25% até 75–100% da área municipal afetada. Mais uma vez, a Bahia aparece com as áreas mais preocupantes, sendo 67 municípios, com alguns quase totalmente degradados, chegando a 97% da sua área municipal

em níveis críticos de degradação. Também se destacam pontos persistentes no agreste e no sertão pernambucano. É importante notar que vários municípios que tinham degradação intermediária no mapa anterior mantiveram ou pioraram sua situação.

Figura 9 - Conjunto total dos degradados.



Fonte: Autoria própria (2026).

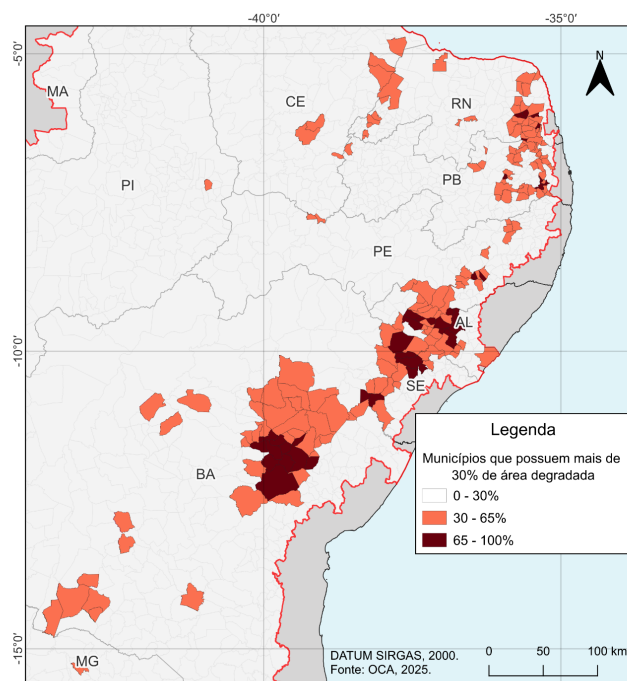
A comparação entre os dois cenários (permaneceram e evoluíram) mostra que as regiões mais críticas se repetem nos dois períodos analisados e que muitas áreas que já estavam degradadas continuaram ou pioraram. Também surgiram novas áreas em situação preocupante, que podem passar para o nível crítico nos próximos anos. Esses resultados indicam a necessidade de ações mais eficazes para conter o avanço da degradação e de monitoramento constante por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento, para acompanhar mudanças e avaliar se as medidas adotadas estão trazendo resultados (Reynolds et al., 2007).

4.3.4. Avaliação dos Municípios que tiveram $\geq 30\%$ de sua área total degradada.

A análise da degradação da terra nas ASD mostram que os maiores níveis de degradação estão concentrados em algumas regiões específicas e que, em muitos casos, se manteve ou piorou ao longo dos anos. Os municípios com $\geq 30\%$ da área em níveis severos de

degradação (4 e 5), as cores claras indicam degradação intermediária (30-65%) e as cores escuras mostram degradação crítica (65-100%) (Figura 10).

Figura 10 - Municípios com $\geq 30\%$ de área degradada.



Fonte: Autoria própria (2026).

As áreas mais afetadas concentram-se principalmente no centro-sul da Bahia e em porções do sertão de Pernambuco e da Paraíba, enquanto municípios do litoral leste do Nordeste, de modo geral, apresentam menores níveis de degradação, com algumas exceções pontuais. A faixa intermediária configura um corredor contínuo que se estende do Rio Grande do Norte ao norte de Minas Gerais, indicando áreas em processo de intensificação da degradação, mas que ainda não atingiram os níveis mais críticos.

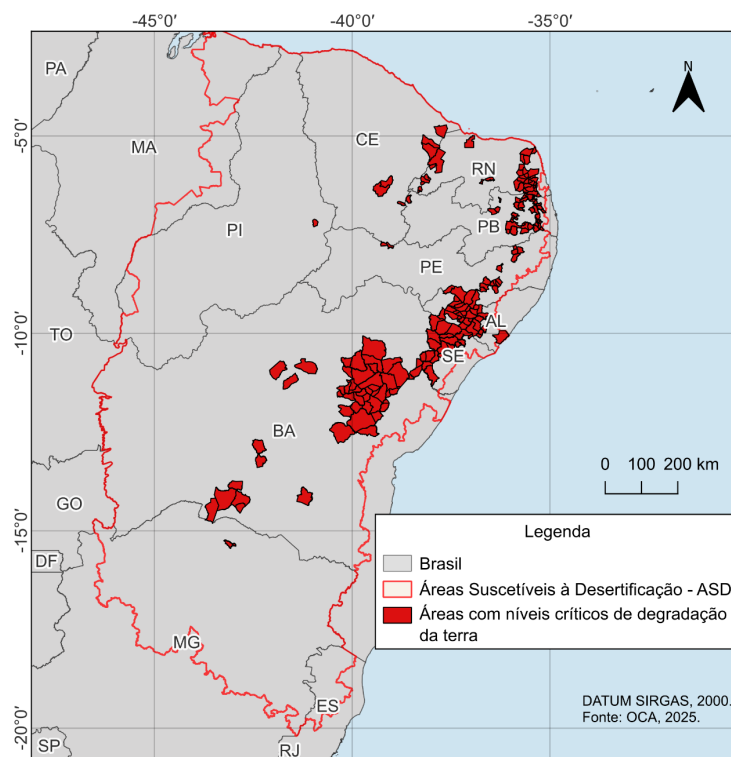
Estudos apontam que essa distribuição espacial está associada à combinação de fatores climáticos e antrópicos. Regiões do interior apresentam maior irregularidade pluviométrica, altas temperaturas e ocorrência de secas severas, o que intensifica o déficit hídrico e favorece processos de degradação (Marengo, 2011). Além disso, a vulnerabilidade dos solos rasos e pedregosos do Semiárido, aliada ao histórico de uso intensivo da terra, como pecuária extensiva, desmatamento e práticas agrícolas inadequadas, contribui para a persistência e expansão das áreas degradadas (Nobre et al., 2016). Já as áreas litorâneas tendem a apresentar maior influência de sistemas atmosféricos úmidos e maiores índices pluviométricos, o que

reduz a suscetibilidade à desertificação, conforme já discutido nos estudos pioneiros de Vasconcelos Sobrinho (1974) sobre a dinâmica ambiental do Nordeste. Esses elementos indicam que a distribuição observada resulta da interação entre condicionantes climáticos estruturais e formas históricas de ocupação e uso do solo.

4.3.5. Áreas com níveis críticos de degradação da terra

Diante da necessidade de identificar e mapear áreas com níveis críticos, adotou-se como critério analítico a seleção de municípios com $\geq 30\%$ de sua área territorial classificada nos níveis críticos de degradação da terra com níveis 4 e 5 do IDT (Apêndices -Tabela 3). A análise foi estruturada a partir do agrupamento de municípios por estado, estratégia que permite identificar padrões regionais de degradação e delimitar com maior precisão as novas fronteiras de desertificação emergentes (Figura 11). A aplicação desse limiar possibilitou a delimitação de um conjunto de 203 municípios distribuídos em nove estados, todos em condição crítica de degradação, evidenciando áreas nas quais o comprometimento ambiental assume caráter estrutural e demanda atenção prioritária, a denominação do agrupamento dessas áreas com níveis críticos foi nomeada por seu respectivo estado.

Figura 11- Áreas com níveis críticos de degradação da terra.



Fonte: Autoria própria (2026).

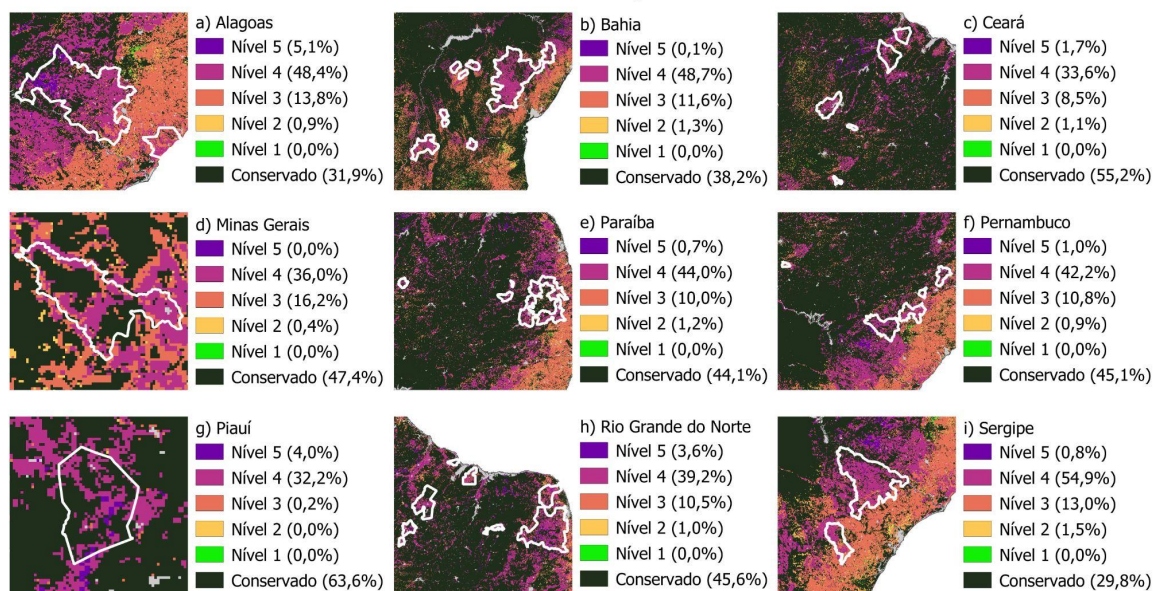
O estado da Bahia concentra o maior número de municípios em condição crítica de degradação da terra, totalizando 50 municípios, o que o configura como a área mais crítica identificada neste estudo. Entre esses, o município de Gavião destaca-se como o mais degradado, com 97% de sua área municipal classificada em níveis críticos. Esse quadro pode ser associado ao uso intensivo da terra, com destaque para a expansão do plantio de milho e soja nos anos de 2022 a 2024, bem como ao aumento do PIB per capita. Observa-se um acréscimo de aproximadamente R\$10 mil no PIB per capita ao longo de 13 anos, entre 2010 e 2023, sendo fortemente impulsionado pela produção agrícola e pelo agronegócio, consolidando o estado como um dos principais polos agropecuários do Nordeste (Batista et al., 2023; IBGE, 2024). Conforme o Boletim da Desertificação, Gavião e Nova Fátima/BA são os municípios com os maiores percentuais de solo degradado, ambos com valores superiores a 94% (Sudene, 2025), os municípios identificados estão no apêndice.

Em seguida, destacam-se os núcleos do Rio Grande do Norte, com 37 municípios, e da Paraíba, com 34 municípios, evidenciando elevada concentração espacial da degradação da terra nesses territórios. O estado de Alagoas reúne 28 municípios, enquanto Pernambuco e Sergipe abrangem 15 e 14 municípios, respectivamente. Já o estado do Ceará, Minas Gerais e Piauí apresentam menor extensão espacial, com 6, 1 e 1 município, respectivamente, indicando áreas mais pontuais de degradação crítica. Essa configuração reforça a heterogeneidade espacial dos processos de desertificação no território brasileiro e evidencia diferentes níveis de concentração e intensidade da degradação entre os núcleos identificados.

Com o objetivo de aprofundar a compreensão da dinâmica da degradação da terra nas áreas com níveis críticos, foi utilizado o IDT para verificar o cenários dos demais níveis. Embora este estudo tenha como foco principal os níveis críticos de degradação (4 e 5), analisar os demais níveis (1, 2 e 3), incluindo as áreas classificadas como conservadas, é essencial para a compreensão do panorama geral da degradação da terra nessas áreas.

A análise evidencia a dinâmica de desertificação em expansão, onde os processos não se limitam aos focos históricos, mas se espalham por territórios contíguos, criando corredores de desertificação que podem comprometer extensas áreas se não forem adequadamente gerenciados (Figura 12). Esta análise espacial reforça a necessidade de reavaliação das prioridades das políticas públicas de combate à desertificação, direcionando atenção e recursos para essas novas áreas críticas.

Figura 12 - Áreas com níveis críticos por estado das ASD.



* Os percentuais dos níveis se referem ao contorno da região em branco, e não ao Estado.

Fonte: OCA, 2025.

A análise dos percentuais de degradação por estado evidencia diferenças importantes na distribuição dos níveis críticos nas Áreas Suscetíveis à Desertificação. Em Alagoas, observa-se a maior proporção de áreas classificadas no Nível 5 (5,1%), além de 48,4% no Nível 4, indicando elevada concentração de áreas sob degradação severa, enquanto apenas 31,9% encontram-se conservadas. Situação semelhante é verificada na Bahia, onde o Nível 4 representa 48,7% da área, embora o percentual de Nível 5 seja significativamente menor (0,1%), com 38,2% das áreas em condição conservada.

No Ceará, apesar de 33,6% da área estar classificada no Nível 4, destaca-se o elevado percentual de áreas conservadas (55,2%), sugerindo menor comprometimento ambiental em comparação a outros estados. Em Minas Gerais, 36,0% da área encontra-se no Nível 4 e 16,2% no Nível 3, indicando predominância de estágios intermediários de degradação, enquanto 47,4% permanecem conservados.

Na Paraíba e em Pernambuco, os percentuais de áreas no Nível 4 são de 44,0% e 42,2%, respectivamente, acompanhados de valores próximos de áreas conservadas (44,1% e 45,1%), evidenciando um equilíbrio entre áreas degradadas e preservadas. O Piauí apresenta o

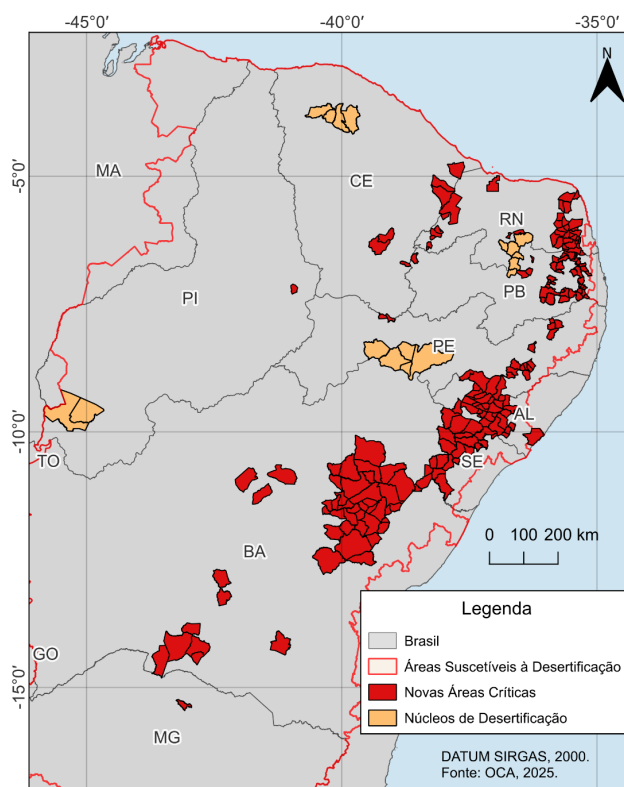
maior percentual de áreas conservadas (63,6%), embora registre 4,0% no Nível 5 e 32,2% no Nível 4, indicando a presença pontual de degradação severa.

No Rio Grande do Norte, 39,2% da área encontra-se no Nível 4 e 3,6% no Nível 5, enquanto 45,6% permanecem conservadas. Por fim, Sergipe apresenta o maior percentual de áreas no Nível 4 (54,9%) e o menor percentual de áreas conservadas (29,8%), evidenciando maior comprometimento ambiental relativo entre os estados analisados. De modo geral, os níveis 1 e 2 apresentam baixa representatividade em todos os estados, reforçando a predominância de estágios mais avançados de degradação nas áreas avaliadas.

4.3.6. Análise visual dos Núcleos de Desertificação (ND) e das áreas com níveis críticos

A análise visual apresenta que a degradação da terra atualmente vai além dos limites definidos pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) há quase 20 anos, ao identificar municípios com níveis críticos de degradação fora dos núcleos tradicionais (Figura 13) (Brasil, 2007).

Figura 13 - Núcleos de Desertificação (ND) e as áreas com níveis críticos.



Fonte: Autoria própria (2026).

Nota-se que surgiram outras áreas com níveis críticos, enquanto alguns núcleos antigos já não aparecem entre os mais degradados. Essa diferença pode ocorrer por dois motivos principais: a dificuldade de encontrar dados históricos detalhados sobre esses locais e a falta de explicações claras, no Atlas da desertificação, sobre os critérios exatos usados para definir aqueles núcleos na época (Brasil, 2007).

Essa diferença reforça que a desertificação é um processo dinâmico e que as pressões sobre o solo mudaram nas últimas décadas (Montenegro, 2023), sendo expandido para outras regiões. Áreas que antes eram consideradas estáveis podem ter sofrido com o avanço de novas fronteiras agrícolas ou com ciclos de seca mais intensos, enquanto alguns núcleos antigos podem ter tido seus processos de degradação estabilizados.

A identificação das áreas com níveis críticos de degradação da terra é fundamental para o planejamento governamental, uma vez que a atualização de como está a dinâmica permite melhorar a distribuição de recursos e o direcionamento de investimentos para as regiões que realmente apresentam maior urgência (PAB-Brasil, 2025). Portanto, os dados aqui apresentados servem como um alerta para a necessidade de revisões periódicas das áreas com níveis críticos, garantindo que as ações de conservação e combate à desertificação acompanhem a realidade atual do semiárido.

Além disso, a inclusão desses novos municípios nos instrumentos de gestão permite que comunidades antes "invisíveis" aos censos de degradação passem a ter acesso a programas de fomento à agricultura resiliente e recuperação de solos. Essa mudança de perspectiva é essencial para que o Brasil cumpra suas metas internacionais, como a Neutralidade da Degradação da Terra (LDN), estabelecida pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD). Sem uma base de dados atualizada, as estratégias de mitigação continuariam focadas em problemas de duas décadas atrás, ignorando as novas frentes de vulnerabilidade que surgiram com as mudanças climáticas e a expansão das atividades antrópicas recentes.

4.4. Variáveis ambientais e climáticas

4.4.1. Núcleos de Desertificação

A caracterização das variáveis ambientais e climáticas dos ND historicamente reconhecidos e das áreas com níveis críticos identificadas neste trabalho, foi realizada a partir

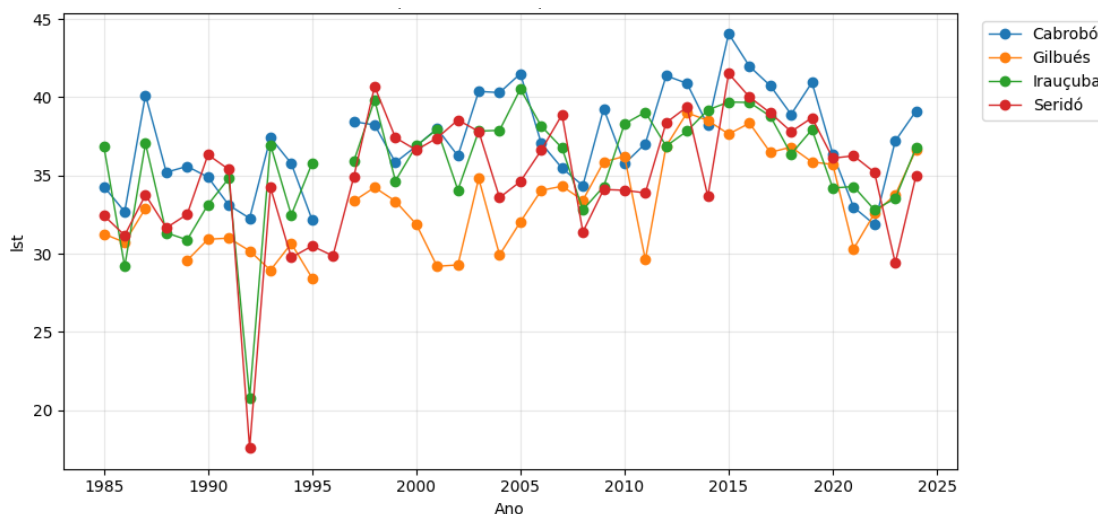
de séries temporais anuais (1985-2024), integrando dados orbitais de NDMI, SAVI, LST e precipitação (CHIRPS). Esta abordagem permitiu avaliar a evolução da temperatura de superfície e o regime hídrico dos núcleos ao longo de quase quatro décadas. Os resultados detalhados estão presentes nas Tabelas 4 e 5, respectivamente (Anexos).

A análise da LST observa-se tendência geral de aumento da temperatura de superfície ao longo do período analisado (1985-2024), com elevação aproximada entre 4 °C e 6 °C, o que corresponde a um incremento médio estimado de cerca de 1,0 °C a 1,5 °C por década nos núcleos avaliados, indicando um processo contínuo de aquecimento da superfície terrestre nas áreas historicamente mais vulneráveis à degradação da terra (Figura 14). Esse comportamento é compatível com o contexto do semiárido brasileiro, onde a redução da cobertura vegetal, associada à variabilidade climática e à intensificação do uso do solo, favorece o aumento da absorção da radiação solar e a diminuição dos fluxos de evapotranspiração, resultando em elevação das temperaturas superficiais e maior estresse ambiental (Salvador; Lima, 2021; Alves et al., 2023).

Observa-se um decréscimo brusco da temperatura de superfície no início da década de 1990 (aproximadamente entre 1990 e 1995), com valores significativamente inferiores à tendência geral da série. Essa redução pode estar associada à ocorrência de anos atipicamente mais chuvosos no Semiárido, o que favorece maior umidade do solo e aumento da cobertura vegetal, reduzindo a temperatura de superfície. Além disso, a variabilidade climática interanual, influenciada por fenômenos de grande escala como El Niño–Oscilação Sul (ENOS), pode explicar oscilações térmicas pontuais dentro de uma tendência geral de aquecimento ao longo das décadas.

Entre os núcleos analisados, Cabrobó/PE destaca-se de forma mais expressiva em relação ao comportamento térmico. O núcleo apresenta os maiores valores absolutos de temperatura de superfície (LST) ao longo de toda a série temporal, iniciando o período com temperaturas médias em torno de 34-35 °C e alcançando valores superiores a 40 °C, com picos próximos de 44 °C nos anos mais recentes. A variação total observada ao longo da série indica um aumento absoluto da ordem de 5 a 6 °C, configurando Cabrobó como o núcleo com temperaturas mais elevadas entre os quatro analisados.

Figura 14 - Comportamento temporal da temperatura nos Núcleos de Desertificação (ND).



Fonte: Autoria própria (2026).

Resultados semelhantes foram observados por Vieira et al. (2015) no núcleo de Cabrobó/PE, onde a temperatura de superfície atingiu valores elevados, em torno de 37,5 °C, com incremento aproximado de 1 °C entre 2009 e 2016. Esse aumento da temperatura da superfície pode estar associado ao estresse hídrico, que tende a se intensificar em áreas com elevado grau de degradação do solo, reforçando a relação entre condições térmicas extremas e processos de degradação ambiental.

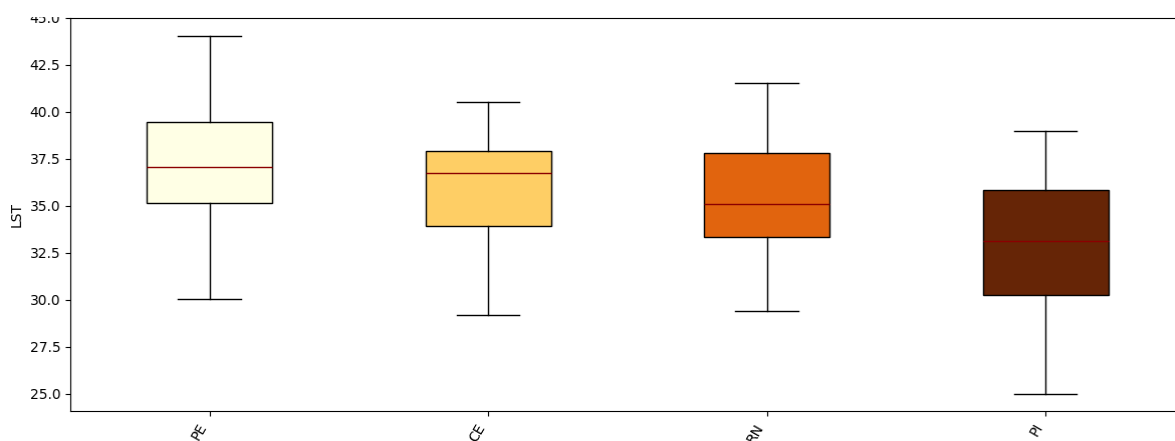
O núcleo de Gilbués/PI também apresenta uma tendência clara de aquecimento, partindo de valores médios próximos a 31-32 °C nos anos iniciais e alcançando aproximadamente 38-39 °C nas décadas mais recentes. Apesar da elevação significativa, o aumento absoluto observado em Gilbués é inferior ao registrado em Cabrobó, indicando que, embora o aquecimento seja generalizado, sua intensidade varia entre os núcleos. Estudos sobre regiões semiáridas brasileira indicam que regiões como Gilbués/PI vêm registrando intensificação de processos de degradação associados a mudanças climáticas e perda de cobertura vegetal, o que está em consonância com as tendências de aquecimento observadas no presente estudo (Viana et al., 2009; Conti, 2021).

Os núcleos de Irauçuba/CE e Seridó/RN exibem igualmente tendências positivas de LST, com aumentos graduais ao longo do tempo. No entanto, a amplitude térmica observada nesses núcleos é mais moderada, com variações aproximadas entre 3 e 4 °C ao longo do período analisado, mantendo valores médios inferiores aos registrados em Cabrobó e Gilbués.

Fisicamente, o aumento da LST no semiárido está ligado à exposição do solo e à perda da vegetação, o que faz com que a superfície perca sua capacidade de regular o calor. Quando a vegetação nativa é trocada por pastagens ou agricultura, o solo fica "nu", aumentando o calor acumulado e criando um ciclo vicioso: as temperaturas mais altas aumentam a seca, o que, por sua vez, dificulta que as plantas voltem a crescer (Marengo et al., 2017)

A análise estatística da LST (Figura 15) confirma essa tendência. Os núcleos de Cabrobó/PE e Irauçuba/CE apresentam as maiores temperaturas médias e uma grande variação nos dados ao longo dos anos. Essa oscilação é típica de áreas com pouca umidade e muito solo exposto. Já os núcleos do Seridó/RN e Gilbués/PI possuem médias de temperatura um pouco menores, mas ainda assim mostram um aquecimento contínuo e preocupante.

Figura 15 - LST por Núcleo de Desertificação (ND).

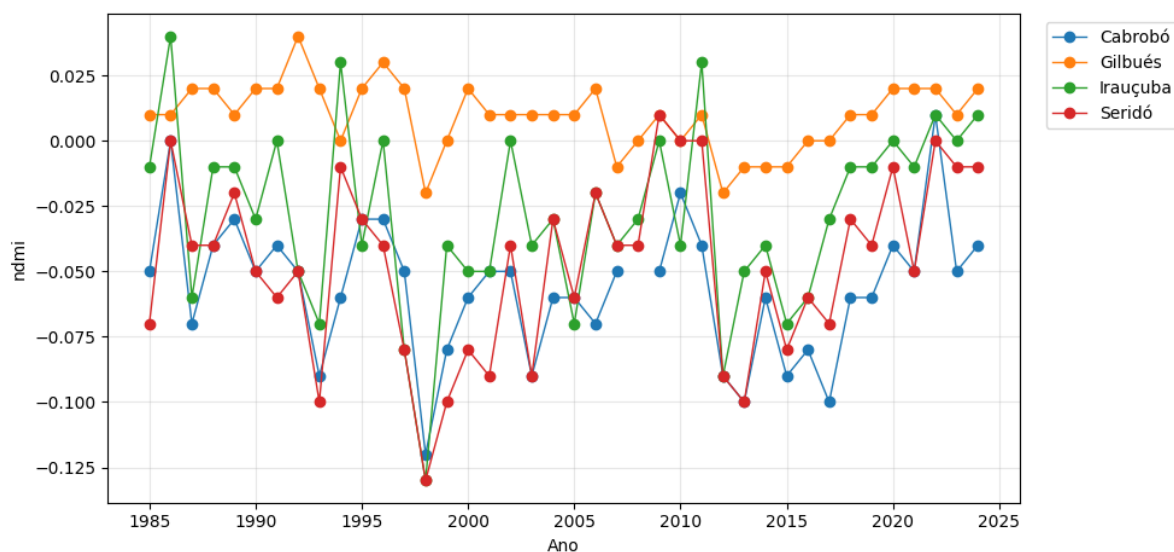


Fonte: Autoria própria (2026).

Além de temperaturas médias elevadas, PI exibiu maior dispersão dos dados, o que sinaliza uma variabilidade térmica típica de superfícies com alta exposição do solo e baixa capacidade de retenção de umidade.

A análise do NDMI para o período de 1985 a 2024 indica condições persistentes de estresse hídrico da vegetação em todos os ND, com predominância de valores negativos ao longo da série temporal (Figura 16). Valores de NDMI próximos ou inferiores a zero refletem baixa umidade na vegetação e maior influência do solo exposto, situação típica de ambientes semiáridos sob pressão climática e antrópica (Gao, 1996).

Figura 16 - Comportamento temporal do NDMI nos Núcleos de Desertificação (ND).



Fonte: Autoria própria (2026).

A predominância de valores negativos de NDMI ao longo da série temporal indica condições persistentes de estresse hídrico da vegetação, situação recorrente em áreas semiáridas sob influência combinada de irregularidade pluviométrica e degradação do solo (Gao, 1996).

Do ponto de vista temporal, observa-se que o núcleo de Cabrobó/PE apresentou os menores valores médios de NDMI, com episódios recorrentes abaixo de -0,08, atingindo mínimos próximos de -0,12 em anos críticos, o que indica elevada severidade do déficit hídrico da vegetação. Esse comportamento sugere uma capacidade limitada de retenção de água e maior vulnerabilidade da cobertura vegetal, compatível com o regime pluviométrico reduzido e com o histórico de uso intensivo do solo na região,

No núcleo de Irauçuba/CE, o NDMI variou entre -0,07 e 0,02. Essa instabilidade mostra que a vegetação responde rápido à chuva, mas não consegue segurar a umidade por muito tempo. Pesquisas no Ceará confirmam que a mistura de chuvas irregulares com o solo degradado faz a vegetação perder água rapidamente, mesmo em anos com mais chuva (Araújo et al., 2022).

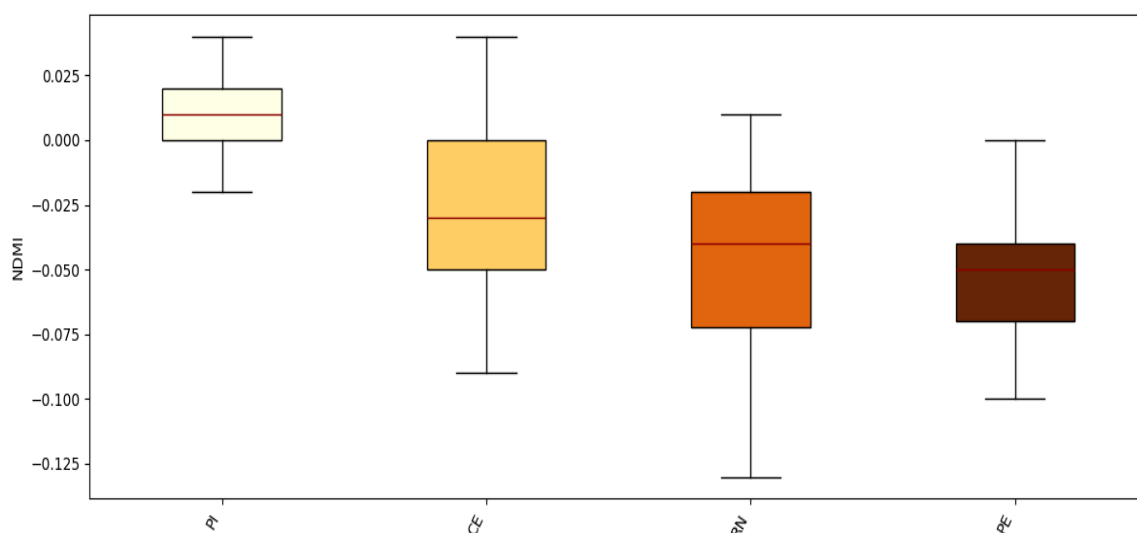
Já o Seridó/RN apresentou valores intermediários, com variações que indicam anos de seca extrema seguidos por pequenos períodos de melhora. Esse comportamento é típico da sensibilidade da Caatinga às mudanças nas chuvas (Silva et al., 2023; De Moraes et al., 2024). Por outro lado, Gilbués/PI teve os melhores índices de umidade (com mediana positiva de $\approx$

0,01). No entanto, a ocorrência de valores negativos mostra que, apesar de chover mais lá, a degradação da terra impede que as plantas aproveitem a água de forma eficiente.

A análise estatística pelo boxplot (Figura 17) reforça essas diferenças. Enquanto Cabrobó/PE e Irauçuba/CE sofrem com condições mais secas e instáveis, Gilbués/PI possui uma reserva de umidade um pouco maior. Contudo, essa umidade superior em Gilbués ainda não é suficiente para frear os processos avançados de degradação que a região enfrenta.

De forma geral, os resultados demonstram que o NDMI é um indicador sensível para identificar e diferenciar níveis de estresse hídrico da vegetação nos ND, especialmente quando analisado em conjunto com variáveis como temperatura de superfície e precipitação.

Figura 17 - NDMI por Núcleo de Desertificação (ND).

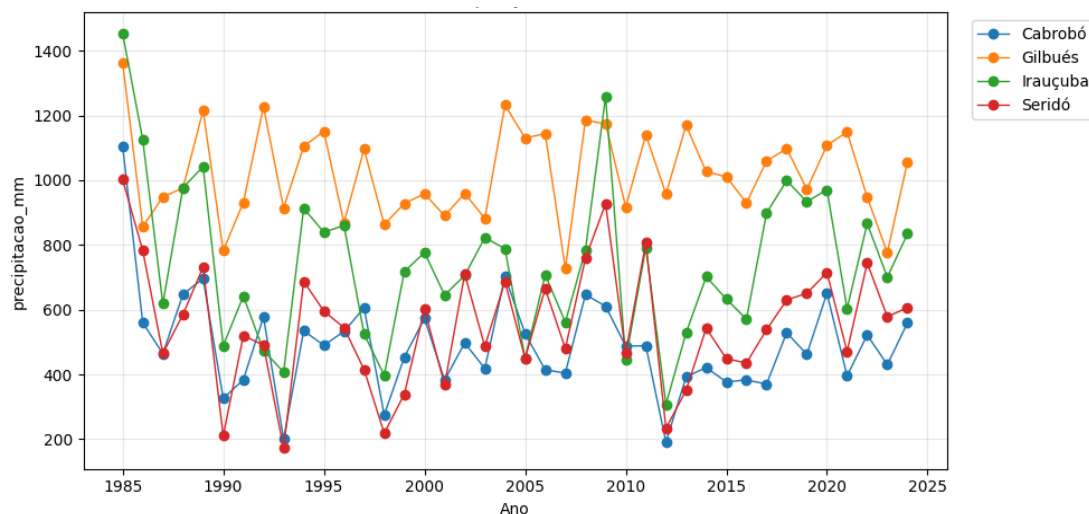


Fonte: Autoria própria (2026).

A persistência de valores negativos ao longo de quase quatro décadas evidencia que a degradação da terra nesses núcleos está associada a um processo contínuo de perda de umidade da vegetação, reforçando a natureza cumulativa e estrutural da desertificação no semiárido brasileiro.

A análise da precipitação anual evidenciou diferenças marcantes entre os ND (Figura 18). Gilbués/PI apresentou os maiores volumes pluviométricos médios, enquanto Cabrobó/PE registrou uma variabilidade interanual, os menores totais anuais, com maior concentração de anos secos, no período de 1982 a 2016 (Marengo et al., 2017). Irauçuba/CE e Seridó/RN apresentaram distribuição intermediária, porém com elevada variabilidade interanual.

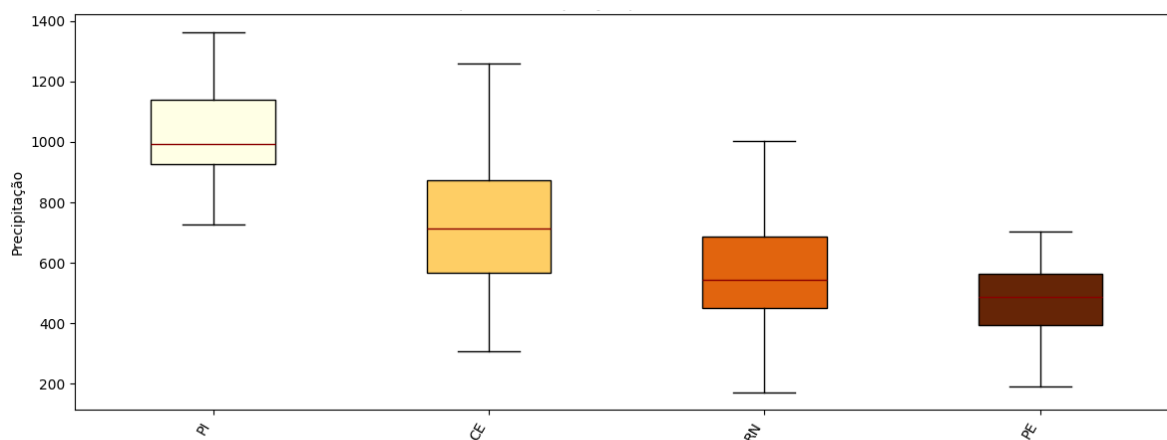
Figura 18 - Comportamento temporal da precipitação nos Núcleos de Desertificação (ND).



Fonte: Autoria própria (2026).

O boxplot de precipitação (Figura 19) evidencia diferenças marcantes no regime pluviométrico entre os ND analisados ao longo do período de 1985 a 2024. O núcleo de Gilbués/PI destaca-se pelos maiores volumes de chuva, com uma mediana próxima de 1.000 mm/ano e picos que ultrapassam os 1.350 mm. Apesar de ser a região mais chuvosa entre os núcleos, os dados mostram uma grande variação de um ano para o outro. Isso indica que as chuvas são mal distribuídas e ocorrem em eventos extremos, concentrando o período mais úmido entre os meses de dezembro e fevereiro. Essa variabilidade é típica de áreas que, mesmo recebendo mais água, ainda sofrem com a instabilidade climática do semiárido.

Figura 19 - Precipitação por Núcleo de Desertificação (ND).



Fonte: Autoria própria (2026).

O núcleo de Irauçuba/CE apresenta uma mediana aproximada de 700 mm/ano, com valores variando entre cerca de 300 mm (mínimos) e 1.250 mm (máximos). A largura da caixa e o comprimento indicam alta variabilidade pluviométrica, reforçando a irregularidade das chuvas na região, fator que contribui para a vulnerabilidade dos sistemas naturais e produtivos.

No Seridó/RN, a precipitação anual é mais restrita, com mediana em torno de 55 mm, quartil inferior próximo de 450 mm e quartil superior em torno de 680 mm. Os valores mínimos alcançam aproximadamente 170 mm, enquanto os máximos chegam a 1.000 mm, evidenciando anos extremamente secos intercalados com anos mais chuvosos, o que intensifica o risco de degradação da terra.

O núcleo de Cabrobó/PE apresenta os menores totais pluviométricos, com mediana próxima de 480 mm/ano, quartil inferior em torno de 400 mm e quartil superior cerca de 560 mm. Os valores mínimos aproximam-se de 190 mm, e os máximos não ultrapassam 700 mm, indicando um regime de chuvas mais limitado e concentrado, típico de áreas fortemente afetadas pela aridez.

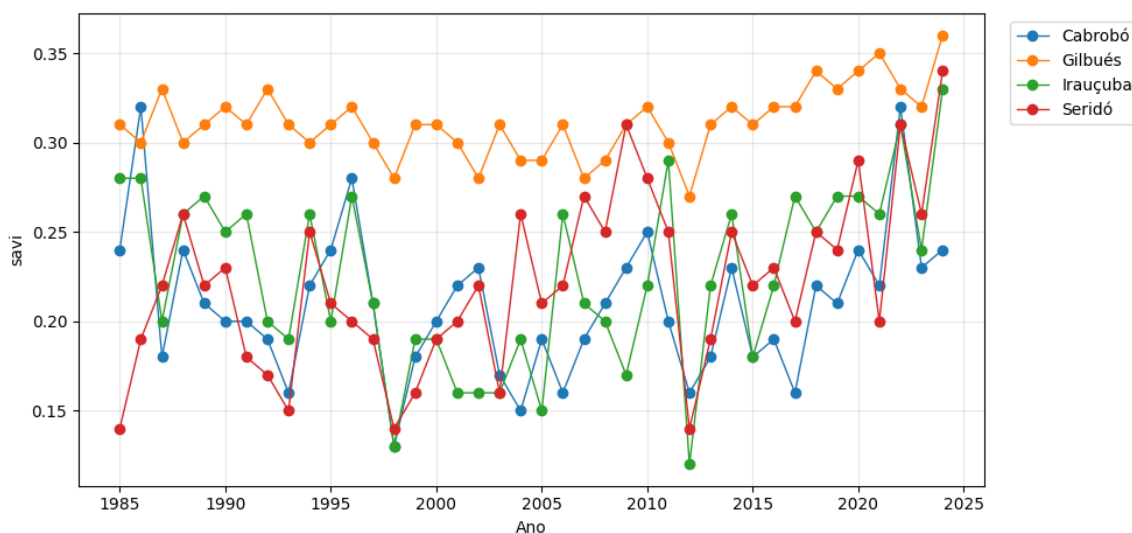
De forma geral, observa-se que, embora existam diferenças nos volumes médios de precipitação entre os núcleos, todos apresentam alta variabilidade interanual, o que compromete a regularidade da disponibilidade hídrica. Essa irregularidade, associada à baixa capacidade de retenção de água no solo e à redução da cobertura vegetal, favorece o avanço dos processos de degradação da terra. Assim, os resultados reforçam que não apenas o volume anual de chuva, mas principalmente sua distribuição temporal irregular, constitui um fator-chave na dinâmica da desertificação nos núcleos analisados.

Os resultados do SAVI indicaram valores relativamente baixos em todos os núcleos, refletindo cobertura vegetal esparsa e forte influência do solo exposto. O gráfico de variação temporal do SAVI (Figura 20), evidencia diferenças importantes na resposta da cobertura vegetal entre os ND ao longo do período analisado (1985–2024).

O comportamento do SAVI revela disparidades marcantes entre os núcleos. Gilbués/PI mantém os maiores índices (0,28 a 0,36), com uma tendência de melhora após 2010, o que indica uma cobertura vegetal mais expressiva favorecida pela maior disponibilidade hídrica da região. Em contraste, Cabrobó/PE apresenta os menores valores (0,15 a 0,25), evidenciando

um estado avançado de degradação onde o solo exposto predomina e a vegetação tem extrema dificuldade de se recuperar.

Figura 20 - Comportamento temporal do SAVI nos Núcleos de Desertificação (ND).



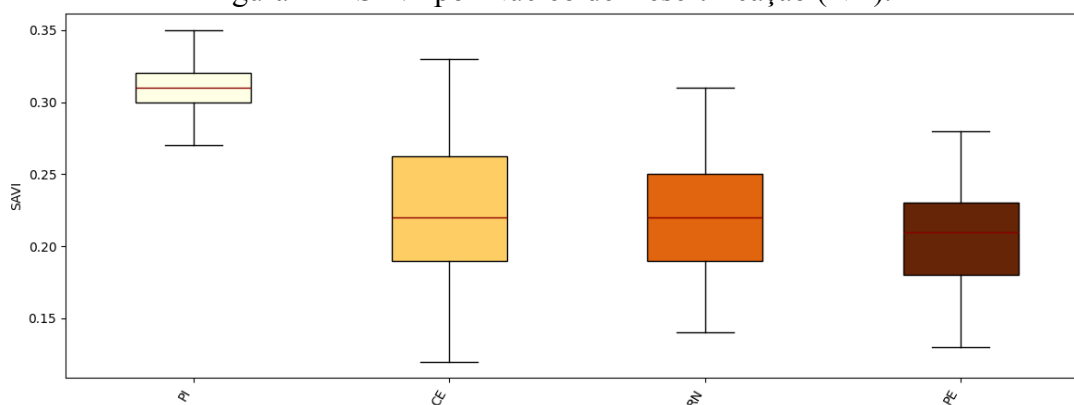
Fonte: Autoria própria (2026).

Já os núcleos de Irauçuba/CE e Seridó/RN mostram um cenário de forte instabilidade. Em Irauçuba, o índice sofre quedas bruscas em anos secos (chegando a 0,12). O Seridó apresenta valores intermediários, com uma leve recuperação a partir de 2015, mas ainda marcada por oscilações que demonstram a incapacidade do ecossistema em manter a estabilidade frente às variações do clima. No geral, os dados confirmam que, enquanto alguns setores conseguem ensaiar uma regeneração pontual, áreas como Cabrobó permanecem presas a um ciclo de baixa biomassa e alta exposição do solo, coerente com as elevadas temperaturas registradas.

A distribuição estatística do SAVI nos ND, apresentada no boxplot (Figura 21), evidencia diferenças claras na condição e na estabilidade da cobertura vegetal entre as áreas analisadas ao longo do período de 1985 a 2024.

De forma geral, o comportamento do SAVI nos quatro núcleos evidencia que a vegetação responde diretamente às condições climáticas, especialmente à precipitação, mas também é fortemente condicionada pelo histórico de uso e ocupação do solo. A elevada variabilidade interanual do índice reflete a instabilidade ambiental típica das ASD, onde curtos períodos de recuperação podem ser rapidamente revertidos por eventos de seca ou pressão antrópica contínua.

Figura 21 - SAVI por Núcleo de Desertificação (ND).



Fonte: Autoria própria (2026).

O núcleo de Gilbués/PI apresenta a maior mediana de SAVI, em torno de 0,31, com valores concentrados entre aproximadamente 0,27 e 0,35. A menor amplitude interquartil indica uma vegetação relativamente mais estável ao longo do tempo, apesar de o núcleo ser historicamente reconhecido como área de intensa degradação.

Os núcleos de Irauçuba/CE e Seridó/RN apresentam medianas de SAVI semelhantes, em torno de 0,22, mas com comportamentos distintos. Enquanto Irauçuba exibe uma grande variação nos dados (0,12 a 0,33), refletindo uma vegetação instável devido à pressão do uso agropecuário, o Seridó mostra uma dispersão menor, indicando uma cobertura vegetal limitada e dependente das chuvas anuais.

O núcleo de Cabrobó/PE registra a menor mediana (0,21), com valores que reforçam a presença de uma vegetação rala e solo exposto. Esse cenário é coerente com as altas temperaturas e a baixa pluviosidade da região, confirmando um estágio avançado de degradação. De forma geral, o gráfico de boxplot demonstra que áreas com menores índices de SAVI e maior variação nos dados são ambientalmente mais frágeis e têm maior dificuldade de recuperação.

A análise das variáveis ambientais e climáticas evidencia que a degradação da terra nos ND não está associada a um único fator isolado, mas ao comportamento conjunto das variáveis ao longo do tempo. A temperatura de superfície apresentou valores elevados e recorrentes, especialmente em períodos de baixa cobertura vegetal, refletida pelos baixos valores de SAVI. O NDMI, por sua vez, indicou condições persistentes de estresse hídrico da vegetação, mesmo em anos com maiores totais de precipitação. Esses resultados sugerem que a precipitação, embora essencial, não é suficiente para promover a recuperação ambiental em

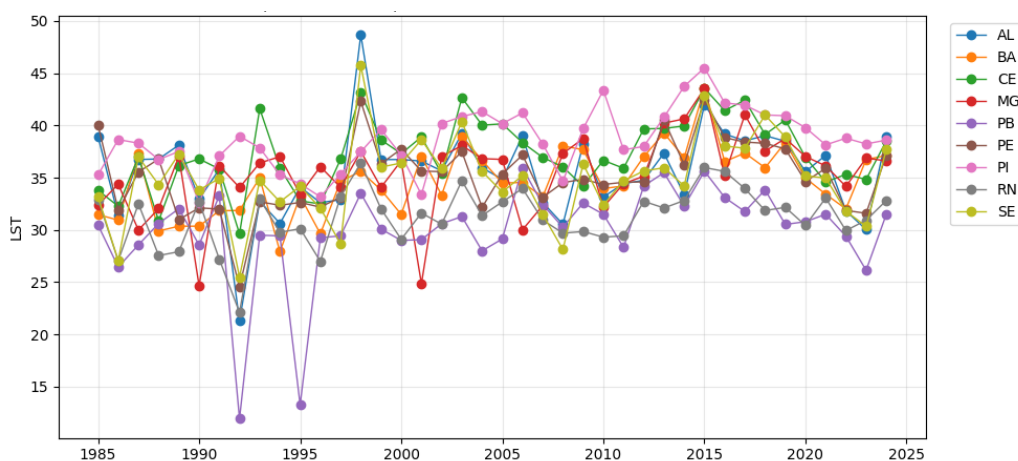
áreas já degradadas, reforçando a influência do uso inadequado do solo e da degradação acumulada.

4.4.2. Áreas com níveis críticos de degradação da terra

A análise das áreas com níveis críticos de degradação da terra identificadas neste estudo baseia-se na avaliação das variáveis ambientais e climáticas LST, NDMI, precipitação e SAVI, considerando o período de 1985 a 2024. A partir dessa abordagem, os resultados são apresentados de modo a evidenciar padrões temporais e espaciais associados à degradação da terra nessas áreas.

A análise da série temporal da LST nas áreas classificadas com níveis críticos de degradação evidencia valores elevados ao longo de todo o período analisado, com temperaturas predominantemente entre 30 °C e 40 °C (Figura 22). Observa-se, a partir dos anos 2000, uma tendência de aumento da LST, caracterizada pela maior frequência de valores superiores a 37 °C, especialmente nas últimas duas décadas.

Figura 22 - Comportamento temporal da LST nas áreas com níveis críticos.



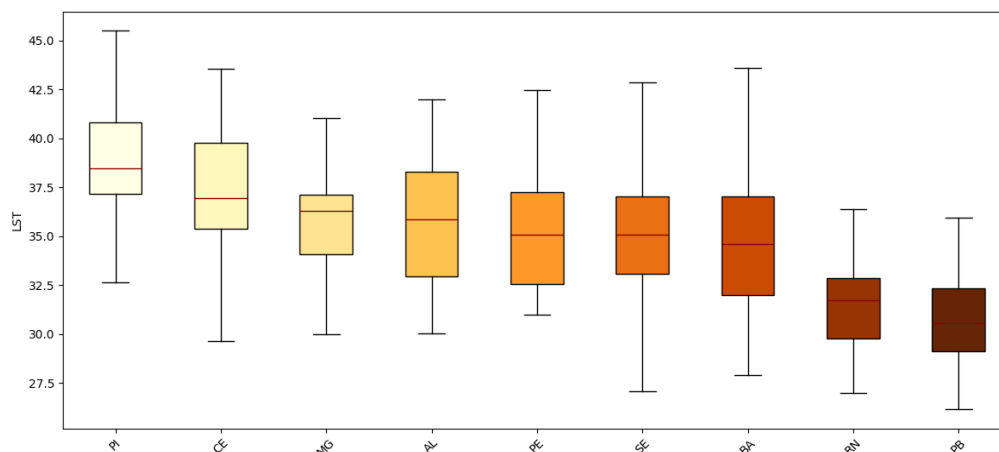
Fonte: Autoria própria (2026).

Na última década, valores inferiores a 30 °C tornam-se raros, indicando um processo de aquecimento progressivo da superfície nas áreas críticas. Episódios de picos térmicos, com temperaturas superiores a 42-45 °C, são recorrentes, sobretudo em estados como Piauí, Ceará e Bahia, refletindo condições ambientais mais severas e maior exposição ao estresse térmico.

A distribuição estatística da LST, apresentada por meio do boxplot, complementa a análise temporal ao evidenciar diferenças espaciais entre os estados analisados (Figura 23). Os

maiores valores medianos de LST são observados em PI e CE, com medianas acima de 36 °C, confirmando a persistência de condições térmicas mais elevadas nessas áreas ao longo do tempo.

Figura 23 - Boxplot da temperatura de superfície (LST) nas áreas com níveis críticos.



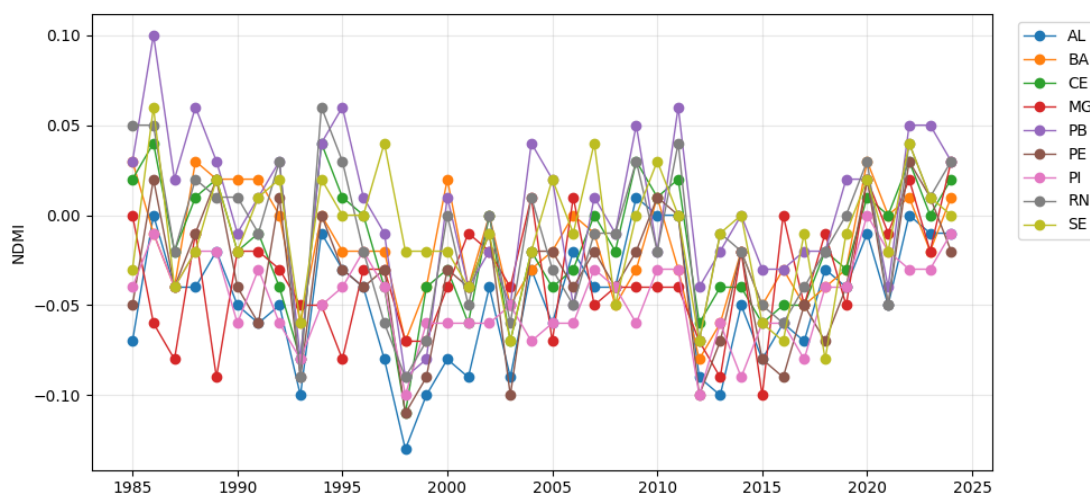
Fonte: Autoria própria (2026).

Estados como MG, AL, PE, SE e BA apresentam medianas intermediárias, variando aproximadamente entre 34 °C e 36 °C, enquanto RN e PB registram as menores medianas, em torno de 30-32 °C. A maior amplitude interquartil observada em PI, CE e BA indica maior variabilidade térmica, sugerindo a ocorrência frequente de extremos de temperatura nessas localidades.

A análise da série temporal do NDMI nas áreas classificadas com níveis críticos de degradação evidencia predominância de valores negativos ao longo de todo o período analisado, indicando condições persistentes de déficit hídrico no sistema solo-vegetação. Os valores oscilaram, em geral, entre -0,10 e 0,05, com maior concentração abaixo de -0,03, especialmente a partir do final da década de 1990 (Figura 24).

Observa-se que, nas últimas duas décadas, valores positivos de NDMI tornaram-se menos frequentes, sugerindo redução da umidade superficial mesmo em anos com precipitação relativamente elevada. Episódios de queda acentuada do NDMI, com valores inferiores a -0,08, ocorrem de forma recorrente entre o final dos anos 1990 e o início dos anos 2010, refletindo períodos prolongados de estresse hídrico nas áreas críticas.

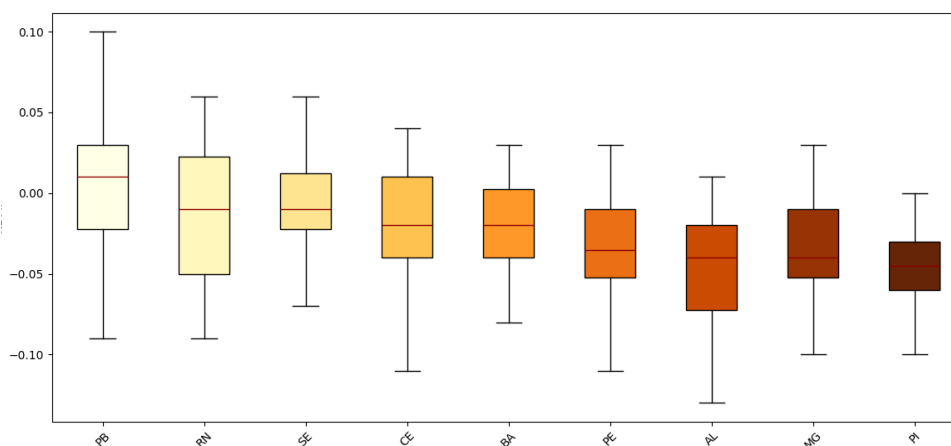
Figura 24 - Comportamento temporal do NDMI nas áreas com níveis críticos.



Fonte: Autoria própria (2026).

A distribuição estatística do NDMI, apresentada por meio do boxplot, complementa a análise temporal ao evidenciar diferenças espaciais na disponibilidade hídrica entre os estados analisados (Figura 25). Os maiores valores medianos, próximos de 0,00 a 0,02, são observados em PB e RN, indicando condições relativamente menos severas de déficit hídrico nessas áreas críticas.

Figura 25 - Boxplot do NDMI nas áreas com níveis críticos.

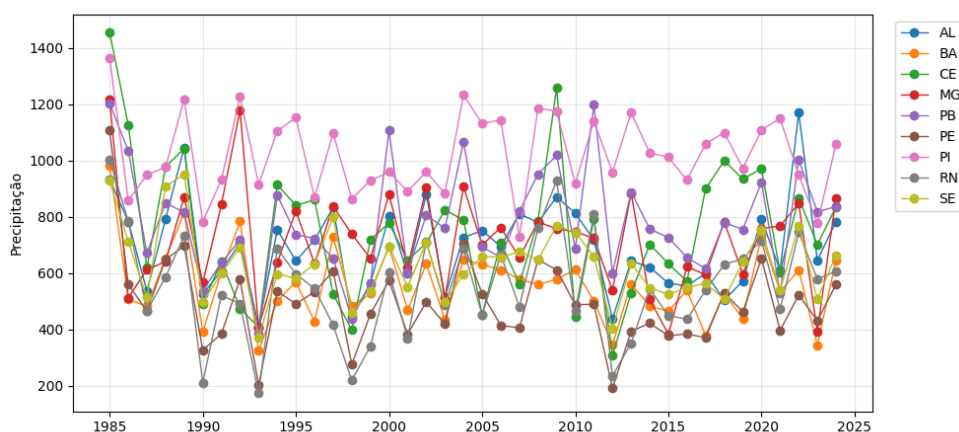


Fonte: Autoria própria (2026).

Por outro lado, PI, MG e AL apresentam as menores medianas, variando entre -0,04 e -0,06, o que evidencia maior limitação hídrica nessas localidades. Estados como CE, BA, PE e SE exibem valores intermediários, com medianas predominantemente negativas e amplitudes interquartis relativamente elevadas, indicando alta variabilidade interanual da umidade superficial.

A análise da série temporal da precipitação nas áreas classificadas com níveis críticos de degradação evidencia elevada variabilidade interanual ao longo do período analisado, com totais anuais variando aproximadamente entre 200 mm e 1.400 mm. Observam-se recorrentes episódios de anos secos, caracterizados por totais inferiores a 600 mm, especialmente a partir dos anos 2000, indicando a persistência de condições climáticas desfavoráveis nas áreas críticas (Figura 26).

Figura 26 - Comportamento temporal da precipitação nas áreas com níveis críticos.

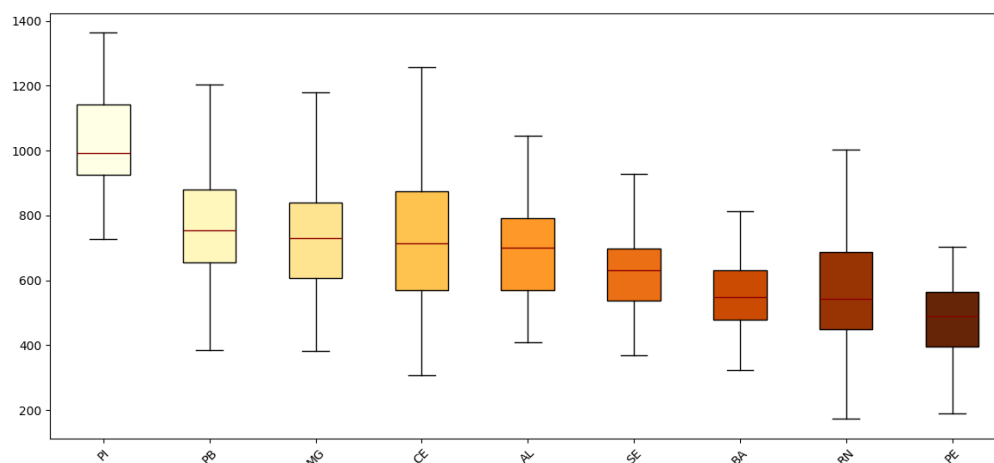


Fonte: Autoria própria (2026).

Embora ocorram anos pontuais com maiores volumes de precipitação, esses eventos não se mantêm de forma contínua ao longo do tempo. Nas últimas duas décadas, verifica-se uma maior frequência de valores abaixo da média histórica, evidenciando a recorrência de períodos prolongados de déficit hídrico, os quais contribuem para a intensificação dos processos de degradação da terra. Esse comportamento é compatível com os principais episódios de seca registrados na Região Nordeste, em especial o evento ocorrido entre 2012 e 2015, considerado um dos mais severos das últimas décadas (Marengo; Cunha; Alves, 2016). Nesse período, observa-se nos dados pluviométricos a predominância de valores inferiores à média climatológica, indicando que a variabilidade interanual da precipitação está diretamente associada à intensificação das condições de aridez e, consequentemente, ao avanço dos processos de degradação nas áreas suscetíveis à desertificação.

A distribuição estatística da precipitação, representada pelo boxplot, complementa a análise temporal ao evidenciar diferenças espaciais marcantes entre os estados analisados (Figura 27). Os maiores valores medianos são observados em PI, com mediana próxima de 1.000 mm, indicando condições relativamente mais úmidas mesmo nas áreas críticas.

Figura 27: Boxplot da precipitação nas áreas com níveis críticos.

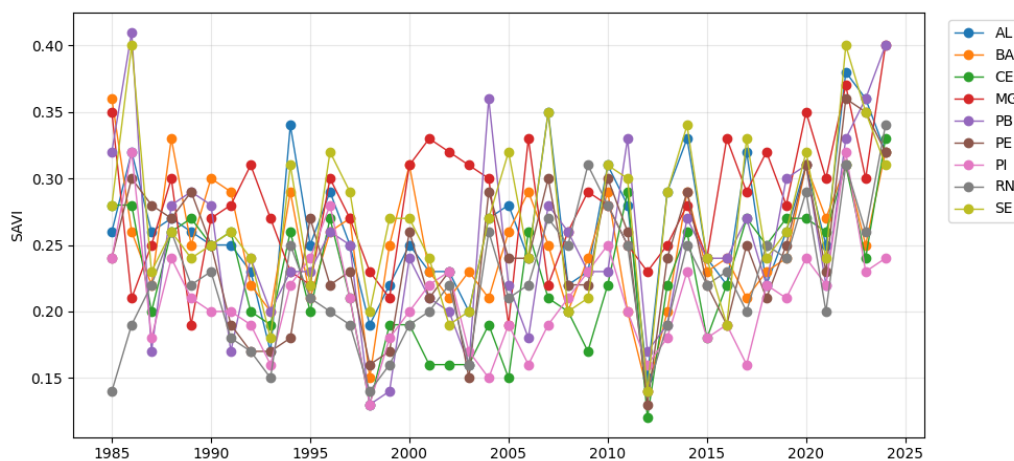


Fonte: Autoria própria (2026).

Em contraste, PE, RN e BA apresentam as menores medianas, variando aproximadamente entre 450 mm e 550 mm, refletindo maior recorrência de condições secas. Estados como PB, MG, CE, AL e SE exibem valores intermediários, com medianas entre 600 mm e 750 mm, além de amplitudes interquartis elevadas, indicando alta variabilidade interanual da precipitação.

A análise da série temporal do SAVI nas áreas classificadas com níveis críticos de degradação evidencia valores persistentemente baixos ao longo de todo o período analisado, indicando baixa densidade e vigor da cobertura vegetal. Os valores do SAVI oscilaram predominantemente entre 0,15 e 0,35, com maior concentração abaixo de 0,25, especialmente a partir do final da década de 1990 (Figura 28).

Figura 28: Comportamento temporal do SAVI nas áreas com níveis críticos.

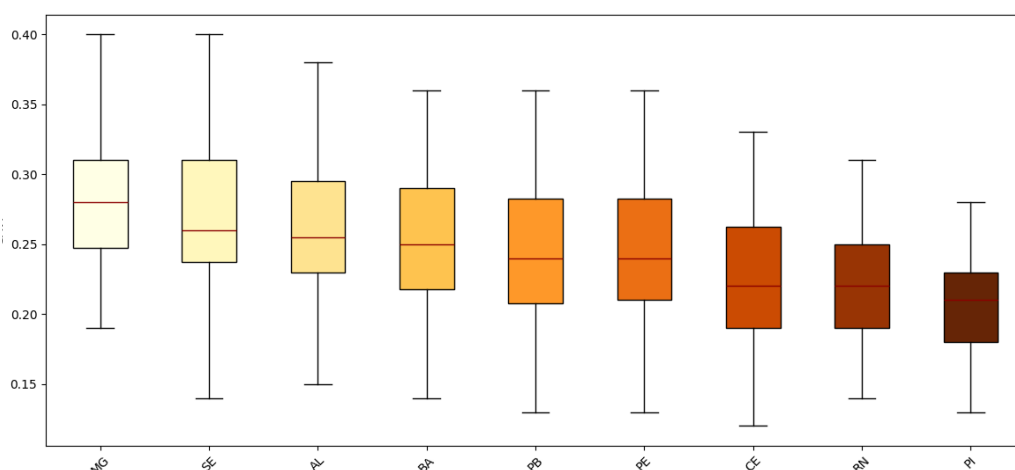


Fonte: Autoria própria (2026).

Nas últimas duas décadas, valores mais elevados de SAVI tornaram-se menos frequentes, indicando uma menor capacidade de recuperação da vegetação, mesmo em anos com condições climáticas mais favoráveis. Além disso, quedas acentuadas do SAVI, com valores entre 0,12 e 0,15, têm ocorrido de forma recorrente, especialmente em períodos marcados por déficit hídrico prolongado e temperaturas de superfície elevadas. Esse resultado está de acordo com Souza, 2014, que, ao analisar a cobertura vegetal, observou maiores médias do índice SAVI em áreas com vegetação arbórea e arbustiva.

A distribuição estatística do SAVI, apresentada por meio do boxplot, complementa a análise temporal ao evidenciar diferenças espaciais na condição da cobertura vegetal entre os estados analisados (Figura 29). Os maiores valores medianos são observados em MG e SE, com medianas próximas de 0,27-0,28, indicando cobertura vegetal relativamente mais preservada, mesmo nas áreas críticas.

Figura 29 - Boxplot do SAVI nas áreas com níveis críticos.



Fonte: Autoria própria (2026).

Em contraste, PI, RN e CE apresentaram as menores medianas, variando aproximadamente entre 0,20 e 0,22, refletindo maior exposição do solo e vegetação mais esparsa. Estados como AL, BA, PB e PE exibem valores intermediários, com medianas entre 0,23 e 0,25, além de amplitudes interquartis moderadas, indicando variabilidade interanual da cobertura vegetal.

De forma integrada, os resultados evidenciam que as áreas classificadas com níveis críticos de degradação da terra estão associadas a um conjunto consistente de condições ambientais adversas, caracterizadas por regime pluviométrico irregular, déficit hídrico

persistente, baixa cobertura vegetal e temperaturas de superfície elevadas. A análise temporal indicou a recorrência de anos secos, com aumento da frequência de totais pluviométricos, à predominância de valores negativos de NDMI e à redução progressiva dos valores de SAVI, sobretudo a partir dos anos 2000. Paralelamente, observou-se uma tendência de elevação da temperatura de superfície, com maior ocorrência de extremos térmicos nas últimas décadas. A distribuição espacial, evidenciada pelos boxplots, reforça esses padrões ao indicar maior severidade das condições ambientais em estados localizados nas porções mais áridas do semiárido brasileiro, como PI, CE e BA. Em conjunto, esses resultados confirmam que a degradação da terra nessas áreas não se manifesta de forma episódica, mas sim como um processo persistente e cumulativo, no qual a interação entre clima, umidade, cobertura vegetal e temperatura intensifica a vulnerabilidade ambiental e dificulta a recuperação dos sistemas naturais.

A comparação entre os resultados obtidos para os ND e para as áreas classificadas como níveis críticos de degradação da terra evidencia um agravamento sistemático das condições ambientais nestas últimas. Embora os ND já apresentem sinais claros de degradação avançada, expressos por aumentos sucessivos de LST, valores persistentemente negativos de NDMI, baixos índices de SAVI e elevada irregularidade pluviométrica, as áreas críticas identificadas neste estudo exibem um cenário ainda mais severo e generalizado. Nessas áreas, a temperatura de superfície atinge valores medianos mais elevados e com maior recorrência de extremos térmicos, o NDMI mantém-se predominantemente negativo, indicando déficit hídrico crônico, e o SAVI apresenta valores mais baixos e menos frequentes de recuperação, refletindo uma cobertura vegetal ainda mais esparsa e instável.

Diferentemente dos ND, nos quais ainda se observam respostas pontuais da vegetação em anos mais chuvosos, como em Gilbués/PI, as áreas críticas revelam menor capacidade de resiliência ambiental. Assim, os resultados indicam que as áreas críticas não apenas reproduzem os padrões observados nos ND, mas representam uma fase mais avançada do processo de degradação, marcada pela intensificação simultânea do aquecimento superficial, da perda de umidade, da redução da cobertura vegetal e da irregularidade climática, o que justifica sua classificação como áreas de maior vulnerabilidade ambiental no contexto das ASD.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a degradação da terra nas ASD do Brasil a partir da avaliação dos ND historicamente reconhecidos e da identificação de áreas com níveis críticos de degradação por meio do IDT. Os resultados dos ND não apresentam sinais consistentes de recuperação ambiental, configurando processos de degradação contínuos e cumulativos.

Entretanto, a principal contribuição da pesquisa foi evidenciar que os processos de degradação da terra extrapolam os limites espaciais dos núcleos históricos. A aplicação do IDT permitiu identificar 203 municípios classificados em níveis críticos de degradação, distribuídos em nove estados, com forte concentração no estado da Bahia. A análise das áreas críticas revelou um cenário ambiental ainda mais severo quando comparado aos ND, caracterizado por temperaturas de superfície mais elevadas e recorrência de extremos térmicos, déficit hídrico crônico, com NDMI persistentemente negativo, e valores de SAVI ainda mais baixos, indicando vegetação esparsa, instável e com reduzida capacidade de regeneração.

A análise integrada das variáveis ambientais e climáticas reforçou esse cenário. O comportamento conjunto da LST, do NDMI, do SAVI e da precipitação demonstrou que a degradação da terra resulta da interação entre fatores climáticos e antrópicos, não estando associada a um único elemento isolado. Observou-se que, mesmo em áreas com volumes pluviométricos relativamente elevados, a irregularidade das chuvas, aliada à degradação física do solo e à redução da cobertura vegetal, limita a infiltração e a retenção de umidade, comprometendo a capacidade de recuperação ambiental. Assim, a precipitação, embora essencial, mostrou-se insuficiente para reverter processos de degradação já avançados.

No contexto socioeconômico, destaca-se o estado da Bahia, que concentrou o maior número de municípios classificados como críticos e apresentou crescimento expressivo do PIB, associado à expansão das atividades agropecuárias. Esse modelo de desenvolvimento, embora economicamente relevante, tem intensificado a pressão sobre os recursos naturais, contribuindo para o empobrecimento do solo, reforçando a vulnerabilidade ambiental dessas áreas e ampliando os riscos associados à desertificação.

De forma geral, os resultados demonstram que a desertificação no Brasil não deve ser compreendida apenas como um fenômeno restrito aos ND historicamente reconhecidos, mas como um processo dinâmico, espacialmente expansivo e ambientalmente agravado, com

implicações ambientais, sociais e econômicas de longo prazo. Nesse sentido, a identificação de áreas com níveis críticos de degradação representa um avanço importante para o entendimento atual da degradação da terra nas ASD, ao evidenciar estágios mais avançados do processo de desertificação, e reforça a necessidade de atualização das bases técnicas e metodológicas que orientam as políticas públicas de prevenção, mitigação e combate à desertificação no Brasil.

5.1. Recomendações

Como recomendação, sugere-se que estudos futuros priorizem a análise das variáveis ambientais e climáticas em nível de pixel, uma vez que o IDT é produzido nessa mesma unidade espacial. Essa escolha tende a aumentar a coerência metodológica e a sensibilidade dos resultados, reduzindo perdas de informação causadas por agregações (por município ou por estatística zonais) e permitindo captar melhor a heterogeneidade interna das áreas suscetíveis à desertificação. Além disso, recomenda-se ampliar a análise dos conjuntos de variáveis ambientais e climáticas, explorando indicadores que representem de forma mais completa os fluxos de energia e água e a condição biofísica da superfície, como albedo, evapotranspiração, NDVI/EVI, umidade do solo, índices de seca e métricas de uso e cobertura da terra, bem como variáveis socioeconômicas em escalas compatíveis. Por fim, destaca-se o potencial de reaproveitamento dos dados e produtos gerados nesta pesquisa em investigações posteriores, especialmente se a análise das variáveis for conduzida pixel a pixel, garantindo maior compatibilidade com a lógica espacial do IDT e, conseqüentemente, maior robustez para identificar padrões, tendências e áreas com níveis críticos de degradação ao longo do tempo.

6. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: <https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e00.htm>. Acesso em: 18 nov. 2025.
- ALVES, A. C. N.; BARROS, J. D.; ARCOVERDE, G. F. B.; OMETTO, J. P. H. B. **Análise espacial integrada da degradação da terra no Submédio São Francisco**, Brasil. Revista de Geociências do Nordeste, v. 9, n. 2, p. 183–202, 2023. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2023v9n2ID33877>.
- ANDRADE, H. B.; SOUZA, B. I. **Uma análise das técnicas de recuperação de áreas degradadas e sua viabilidade no semiárido brasileiro**. Contribuciones a las Ciencias Sociales, v. 17, n. 9, e10719, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.9-232>.
- ANSELIN, L. **A local indicator of multivariate spatial association: extending Geary's C**. Geographical Analysis, v. 51, n. 2, p. 133–150, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/gean.12164>.
- ARAÚJO, R. S. et al. **Análise espacial da degradação do solo em áreas críticas do semiárido brasileiro**. Revista Brasileira de Geografia Ambiental, v. 7, n. 2, p. 145–162, 2022. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i2.2319>.
- BATISTA, M. L. B.; ALVES, J. da S.; ALVES, C. L. B.; ANDRÉ, D. de M. **Análise fatorial e espacial da modernização agrícola no MATOPIBA**. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 61, n. 3, e261413, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.261413>.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas das áreas suscetíveis à desertificação do Brasil**. Brasília: MMA, 2007.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Perguntas frequentes - Desertificação**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/perguntasfrequent.html>. Acesso em: 19 abr. 2025.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAB-Brasil)**. Brasília: MMA, 2025. Disponível em:

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Programa De Ação Nacional De Combate À Desertificação E Mitigação Dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil)**. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos, 2004. 242p. Disponível em:

https://antigo.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/_arquivos/pan_brasil_portugues.pdf.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Atlas das Áreas Susceptíveis à Desertificação no Brasil**. Brasília: MMA, 2018. Disponível em:

https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/biomas/arquivos-biomas/copy_of_atlas_reas_desertificacao_completo.pdf.

BUENO CONTI, J. **A questão climática do Nordeste brasileiro e os processos de desertificação**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25226>.

CHEN, J. et al. **Global land cover mapping at 30 m resolution: a POK-based operational approach**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 103, p. 7–27, 2014.

CHEVAL, S.; DUMITRESCU, A.; BÎRSAN, M. V. **Variability of the aridity in South-Eastern Europe over 1961–2050**. Catena, v. 151, p. 74–86, 2017. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.028>.

CRUZ NETO, J. F. da et al. **Desertificação: uma visão geral dos processos e conceitos, fundamentados em aplicação de índices orbitais através do sensoriamento remoto**.

Research, Society and Development, v. 10, n. 11, e453101119950, 2021.

CURTIS, P. G. et al. **Classifying drivers of global forest loss**. Science, v. 361, n. 6407, p. 1108–1111, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aau3445>.

D’ACUNTO, F.; MARINELLO, F.; PEZZUOLO, A. **Rural land degradation assessment through remote sensing: current technologies, models, and applications**. Remote Sensing, v. 16, n. 16, p. 3059, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16163059>.

FERREIRA, A. B. R.; PEREIRA, G.; FONSECA, B. M.; CARDOZO, F. S. **As mudanças no uso e cobertura da terra na região oeste da Bahia a partir da expansão agrícola**.

Formação (Online), v. 28, n. 53, p. 389-412, 2021.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA BAHIA (FIEB). **Estimativa do PIB**

da Bahia 2023. Salvador, 2023. Disponível em:

<https://www.fieb.org.br/wp-content/uploads/2023/08/Estimativa-PIB-da-Bahia-2023-FIEB.pdf>

FILHO, J. da C. **Efeitos da instabilidade pluviométrica sobre a previsão da produção de lavouras de sequeiro em áreas sujeitas à desertificação (ASD) no semiárido do estado do Ceará: casos de Irauçuba e Tauá.** 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/43729>.

FUNK, C., et al. **The climate hazards infrared precipitation with stations a new environmental record for monitoring extremes.** Scientific Data, 2(1), 1-21, 2015. doi:10.1038/sdata.2015.66.

GAMARRA, N. L. R., CORRÊA, M. de P., & TARGINO, A. C. de L.. (2014). **Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em Londrina - PR: contribuições para estudos de ilha de calor urbana.** Revista Brasileira De Meteorologia, 29(4), 537–550. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130671>.

GAO, B. C. **NDWI - a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space.** Remote Sensing of Environment, v. 58, p. 257–266, 1996.

HUANG, J. et al. **Global semi-arid climate change over last 60 years.** Climate Dynamics, v. 46, n. 3, p. 1131–1150, 2016.

HUETE, A. R. **A soil-adjusted vegetation index (SAVI).** Remote Sensing of Environment, v. 25, n. 3, p. 295–309, 1988. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios.** Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Produção Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes.** IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>.

LIANG, S. **Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: algorithms.** Remote Sensing of Environment, v. 76, n. 2, p. 213–238, 2001.

LIMA, J. R. de; MAGALHÃES, A. R. **Institucionalidade e governança para o combate à desertificação no Brasil.** In: Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas. Brasília: IPEA, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/entities/publication/ba199927-19d8-4691-8ec3-8f5ba355b0af>. Acesso em: 12 jan. 2026.

LUCENA, M. S. de; ZAKIA, M. J. B.; GUERIN, N. **Discourses on sustainable forest management in the Caatinga Domain.** Ambiente & Sociedade, v. 26, e0042, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20220042vu2023L4OA>.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. **A seca de 2012–2015 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico.** Climanálise, v. 4, p. 49–54, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311058940_A_seca_de_2012-15_no_semiarido_do_Nordeste_do_Brasil_no_contexto_historico.

MARENGO, J. A. et al. **Climatic characteristics of the 2010–2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 90, n. 2, p. 1973–1985, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>.

MARENGO, J. A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil.** Parcerias estratégicas Brasília-DF, n.27, dezembro de 2008. Disponível em: https://seer.cgee.org.br/parcerias_estrategicas/article/view/329/323.

MIDDLETON, N.; THOMAS, D. **World atlas of desertification.** 2. ed. London: Arnold, 1997.

MONTENEGRO, S. M. G. L. Desertificação no Brasil. Ciência e Cultura, v. 75, n. 4, 2023.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; BORMA, L. S.; CASTILLA-RUBIO, J. C.; SILVA, J. S.; CARDOSO, M. **Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 113, n. 39, p. 10759–10768, 2016.

NOVAES, W. **Eco-92: avanços e interrogações.** Estudos Avançados, v. 6, n. 15, p. 79–93,

1992. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40141992000200005>.

PEIXOTO, M. C. de S.; OLIVEIRA, V. P. V. de; PEREIRA NETO, M. C. **Áreas Suscetíveis à Desertificação no Rio Grande do Norte - Brasil: panorama cartográfico**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 18, n. 5, p. 3823–3842, 2025.

PEREZ-MARIN, A. M. et al. **Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica?** Parcerias Estratégicas, Brasília, v. 17, n. 34, p. 87–106, 2012.

REYNOLDS, J. F. et al. **Global desertification: building a science for dryland development**. Science, v. 316, n. 5826, p. 847–851, 2007.

RIVERA-MARIN, Daniela; DASH, Jadunandan; OGUTU, Booker. **The use of remote sensing for desertification studies: A review**. Journal of Arid Environments, v. 206, p. 104829, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104829>.

SALVADOR, M. S. S.; LIMA, V. R. P. L. **Análise do processo de degradação da vegetação em área de Caatinga**. Okara: Geografia em Debate, v. 15, n. 2, p. 248–264, 2021.

SÁ, I. B.; CUNHA, T. J. F.; TEIXEIRA, A. H. de C.; ANGELOTTI, F.; DRUMOND, M. A. **Processos de Desertificação no Semiárido brasileiro**. (Ed.). Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/861927>.

SENA, J. S. **Expansão agropecuária e impactos ambientais no estado da Bahia**. Revista Brasileira de Geografia, v. 78, n. 2, p. 201–218, 2023.

SILVA, J. F. **Dinâmica do uso e cobertura da terra no núcleo de desertificação de Gilbués (PI)**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 4, p. 1283–1298, 2016.

SILVA, F. P.; CASTRO, F. C.; CRUZ JÚNIOR, A. G. **Processo de desertificação e perda de diversidade biológica no semiárido brasileiro**. Revista Ouricuri, v. 14, p. 1-12, 2023.

SILVA, D.; SILVA, J. L. B.; SILVA, T.; SANTOS, P.; LOPES, I.; GOMES, C. **Impacto da alteração do uso do solo usando dados orbitais no Baixo São Francisco**. Revista Ambientale, v. 10, n. 3, p. 71–79, 2018. DOI: 10.17648/ambientale.v10i3.201.

SILVA, L. A. P. da et al.. **Mapping of aridity and its connections with climate classes and climate desertification in future scenarios - Brazilian semi-arid region**. Sociedade & Natureza, 35, e67666, 2023. <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67666x>.

SIMS, N. C. et al. **Good practice guidance: SDG indicator 15.3.1 - proportion of land that is degraded over total land area**. Version 2.0. Bonn: UNCCD, 2021.

SOUZA, A. P. S. de; OLIVEIRA, R. V. **Conflitos de uso e ocupação das terras em áreas de preservação permanente no município de São Félix, BA**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n. 2, p. 974-993, 2024. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.2.p974-993>.

SOUSA, A. K. de O. **Índice de degradação ambiental em núcleos de desertificação no Nordeste do Brasil**. Revista de Geociências do Nordeste, v. 2, p. 921-930, 2016. DOI: 10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10554.

STADLER, S. J. **Aridity indexes**. In: OLIVER, J. E.; FAIRBRIDGE, R. W. (ed.). The encyclopedia of climatology. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987. p. 102–107.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Boletim da desertificação no Semiárido Brasileiro**. Recife: SUDENE, 2025.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Resolução CONDEL nº 176, de 2024**. Recife: SUDENE, 2024.

TOMASELLA, J. et al. **Desertification trends in the northeast of Brazil over the period 2000–2016**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 73, p. 197–206, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.012>.

UNCCD - United Nations Convention to Combat Desertification. **United Nations Convention to Combat Desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa**. Paris: United Nations, 1994.

UNCCD - United Nations Convention to Combat Desertification. **The global land outlook**. 1. ed. Bonn: UNCCD, 2017. Disponível em: https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO_Full_Report_low_res.pdf. Acesso em: 10 dez. 2025.

UNCCD - United Nations Convention to Combat Desertification. **The UNCCD 2018–2030**

strategic framework. Bonn: UNCCD, 2018.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização.** Recife: SUDENE, 1971.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **O problema das secas no Nordeste e a desertificação.** Recife: SUDENE, 1974.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Processos de desertificação no Nordeste do Brasil.** Recife: SUDENE, 1983.

VIANA, D. R. et al. **Avaliação espaço-temporal das mudanças de cobertura da terra no núcleo de desertificação de Gilbués (PI).** In: Conferência Internacional: Clima, Sustentabilidade E Desenvolvimento Em Regiões Semiáridas (Icid+18). Fortaleza, 2010. <https://www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/AvaliacaoEspacoTemporalMudancasCoberturaTerraNucleoDesertificacaoGilbues.pdf>.

VICENTE-SERRANO, S. M., S. BEGUERÍA, and J. I. LÓPEZ-MORENO. **A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index.** J. Climate, 23, 1696–1718, 2010: <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.

VIEIRA, R. M. S. P. **Susceptibilidade à degradação/desertificação no semiárido brasileiro: tendências atuais e cenários decorrentes das mudanças climáticas e do uso da terra.** 2015. 111 f. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

XU, H. **Modification of normalized difference water index (NDWI).** International Journal of Remote Sensing, v. 27, p. 3025–3033, 2006.

WENG, Y.; KHAN, A.; CHATTERJEE, S. **Characterizing thermal fields and evaluating UHI effects.** Urban Heat Island Modeling for Tropical Climates. Amsterdam: Elsevier, 2021. p. 37–67. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819669-4.00002-7>.

APÊNDICES

Tabela 3 - Municípios que tiveram 30% ou mais de sua área degradada.

Cidade/Estado	Área (km ²)	Degradação municipal área >= 30%
Gavião, Bahia	384,592	97
Nova Fátima, Bahia	346,784	97
Capela do Alto Alegre, Bahia	629,586	94
Areial, Paraíba	35,810	93
Pé de Serra, Bahia	596,771	93
Montadas, Paraíba	31,793	90
Pintadas, Bahia	647,144	87
Riachão do Jacuípe, Bahia	1,155,418	87
Bom Jesus, Rio Grande do Norte	122,035	85
Várzea da Roça, Bahia	468,407	82
Passa e Fica, Rio Grande do Norte	42,137	81
Carneiros, Alagoas	111,696	81
Oliveira, Alagoas	175,288	80
Craibas, Alagoas	278,879	78
Poço Verde, Sergipe	441,326	78
Minador do Negrão, Alagoas	167,462	77
São José do Jacuípe, Bahia	362,365	77
Estrela de Alagoas, Alagoas	260,772	75
Girau do Ponciano, Alagoas	513,454	73
Jaramataia, Alagoas	105,416	73
Monte Alegre de Sergipe, Sergipe	386,912	73
Senador Elói de Souza, Rio Grande do Norte	152,376	73
Vera Cruz, Rio Grande do Norte	84,127	73

Brejinho, Rio Grande do Norte	61,559	72
Senador Rui Palmeira, Alagoas	338,569	72
Calçado, Pernambuco	121,945	71
Heliópolis, Bahia	313,438	70
Ipirá, Bahia	3,105,281	70
Nossa Senhora da Glória, Sergipe	758,429	69
Sobrado, Paraíba	61,953	69
Igaci, Alagoas	334,346	68
Major Isidoro, Alagoas	442,744	68
Poço Redondo, Sergipe	1,220,426	68
São José da Tapera, Alagoas	490,879	68
São José dos Ramos, Paraíba	100,642	68
Caldas Brandão, Paraíba	55,963	67
Feira Nova, Sergipe	183,273	67
Nossa Senhora Aparecida, Sergipe	340,772	67
Candeal, Bahia	447,578	66
Jucati, Pernambuco	120,527	66
Retirolândia, Bahia	242,329	66
Quixabeira, Bahia	366,387	65
Cacimbinhas, Alagoas	281,692	64
Ibipitanga, Bahia	954,373	64
Queimadas, Bahia	2,011,060	64
Riachão do Poço, Paraíba	40,460	64
Puxinanã, Paraíba	71,118	64
Capim Grosso, Bahia	464,776	63
Jupi, Pernambuco	104,835	63
Lagoa d'Anta, Rio Grande do Norte	105,652	63

Olho d'Água das Flores, Alagoas	188,221	63
Passagem, Rio Grande do Norte	41,215	63
São Domingos, Bahia	289,963	62
Dois Riachos, Alagoas	141,621	62
Baraúna, Paraíba	50,030	61
Logradouro, Paraíba	42,876	60
Ouro Branco, Alagoas	196,560	60
Serrolândia, Bahia	322,022	60
Cacimba de Dentro, Paraíba	165,072	59
Lajedo, Pernambuco	189,096	59
Carira, Sergipe	638,743	58
Porto da Folha, Sergipe	878,043	58
Lagoa Nova, Rio Grande do Norte	176,302	57
Mari, Paraíba	155,265	57
Santo Antônio, Rio Grande do Norte	301,082	57
Guanambi, Bahia	1,272,366	56
Ichu, Bahia	138,016	56
Lagoa de Pedras, Rio Grande do Norte	117,971	56
Monteirópolis, Alagoas	86,604	56
Caetés, Pernambuco	294,946	55
Pureza, Rio Grande do Norte	504,294	55
Teofilândia, Bahia	351,892	55
Caturité, Paraíba	117,823	53
Lagoa Salgada, Rio Grande do Norte	79,128	53
Nova Cruz, Rio Grande do Norte	277,658	52
Pedro Alexandre, Bahia	889,572	52
Severiano Melo, Rio Grande do Norte	157,850	52

Cubati, Paraíba	163,570	51
Itatuba, Paraíba	251,749	51
Casserengue, Paraíba	202,761	50
Conceição do Coité, Bahia	1,015,252	50
Gararu, Sergipe	656,956	50
Itaíba, Pernambuco	1,061,694	50
Monte Alegre, Rio Grande do Norte	211,259	50
Santaluz, Bahia	1,623,445	50
Esperança, Paraíba	157,851	48
Major Sales, Rio Grande do Norte	31,971	48
Palmas de Monte Alto, Bahia	2,560,027	48
Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte	259,959	48
Santa Maria do Cambucá, Pernambuco	92,148	49
Itabaiana, Paraíba	210,572	49
Januário Cicco, Rio Grande do Norte	170,737	49
José da Penha, Rio Grande do Norte	117,635	49
Arara, Paraíba	91,306	47
Filadélfia, Bahia	579,686	47
Pilar, Paraíba	103,306	47
Serra do Mel, Rio Grande do Norte	620,241	47
São José do Campestre, Rio Grande do Norte	341,115	47
Tanhaçu, Bahia	1,277,514	47
Barrocas, Bahia	207,297	46
Coronel João Sá, Bahia	797,434	46
Itiúba, Bahia	1,650,593	46
Jussara, Bahia	1,355,173	46
Mogeiro, Paraíba	214,093	46

Santana do Ipanema, Alagoas	436,160	46
São Pedro, Rio Grande do Norte	195,237	46
Cipó, Bahia	168,330	45
Curral de Cima, Paraíba	86,428	45
Macaíba, Rio Grande do Norte	510,092	45
Montanhas, Rio Grande do Norte	82,214	45
Penaforte, Ceará	150,536	45
Serra Preta, Bahia	595,297	45
Valente, Bahia	394,877	45
Caiçara, Paraíba	123,677	43
Nossa Senhora de Lourdes, Sergipe	83,767	43
Tacima, Paraíba	245,236	43
Várzea, Rio Grande do Norte	72,684	43
Adustina, Bahia	629,099	42
Batalha, Alagoas	315,870	42
Campo Grande, Alagoas	170,144	42
Duas Estradas, Paraíba	27,012	42
Frei Miguelinho, Pernambuco	212,707	42
Iuiu, Bahia	1,525,142	42
Nordestina, Bahia	465,407	42
Serrinha, Rio Grande do Norte	193,351	42
Tobias Barreto, Sergipe	1,024,645	42
Traipu, Alagoas	681,577	39
Santa Maria, Rio Grande do Norte	219,570	39
Ourolândia, Bahia	1,544,988	39
Olho d'Água Grande, Alagoas	117,006	39
Poço das Trincheiras, Alagoas	284,260	39

Baixa Grande, Bahia	967,514	39
Candiba, Bahia	433,642	39
Cansanção, Bahia	1,351,891	39
João Dourado, Bahia	913,258	39
Baixio, Ceará	145,556	38
Caturama, Bahia	716,261	38
Fátima, Bahia	364,419	38
Jundiá, Rio Grande do Norte	44,641	38
Campina Grande, Paraíba	591,658	37
Catuti, Minas Gerais	287,812	37
Coruripe, Alagoas	897,800	37
Rafael Jambeiro, Bahia	1,090,552	37
Riachão, Paraíba	85,291	37
Rio do Fogo, Rio Grande do Norte	151,097	37
São Vicente do Seridó, Paraíba	262,751	37
Taipu, Rio Grande do Norte	352,818	37
Vila Nova do Piauí, Piauí	221,627	37
Belo Monte, Alagoas	334,136	36
Capim, Paraíba	79,876	36
Paranatama, Pernambuco	185,371	36
Surubim, Pernambuco	252,896	36
Canindé de São Francisco, Sergipe	934,167	35
Jaguaruana, Ceará	854,362	35
Queimadas, Paraíba	402,748	35
São João, Pernambuco	258,519	35
São Sebastião de Lagoa de Roça, Paraíba	46,372	35
Feira Grande, Alagoas	175,906	34

Gracho Cardoso, Sergipe	242,679	34
Paripiranga, Bahia	442,186	34
São Paulo do Potengi, Rio Grande do Norte	240,425	34
Tacaimbó, Pernambuco	227,601	34
Triunfo, Paraíba	224,336	34
Dona Inês, Paraíba	173,648	33
Itapororoca, Paraíba	145,806	33
Limoeiro do Norte, Ceará	744,525	33
Manari, Pernambuco	344,685	33
Maravilha, Alagoas	332,370	33
Monte Santo, Bahia	3,034,197	33
Poço Branco, Rio Grande do Norte	230,401	33
Quijingue, Bahia	1,380,798	33
Várzea do Poço, Bahia	206,478	33
Araci, Bahia	1,496,245	32
Capoeiras, Pernambuco	337,130	32
Jacaré dos Homens, Alagoas	148,992	32
Riachão do Bacamarte, Paraíba	40,281	32
Rafael Fernandes, Rio Grande do Norte	78,231	32
Tabuleiro do Norte, Ceará	1,047,637	32
Tangará, Rio Grande do Norte	339,484	32
Tenente Laurentino Cruz, Rio Grande do Norte	68,556	32
Apodi, Rio Grande do Norte	1,602,477	31
Francisco Dantas, Rio Grande do Norte	181,558	31
Iati, Pernambuco	635,137	31
Iguatu, Ceará	992,208	31
Pinhão, Sergipe	156,373	31

Piranhas, Alagoas	403,995	31
-------------------	---------	----

Tabela 4 - Resultado das análises ambientais e climáticas nos ND.

Ano	Land Surface Temperature (LST)	Normalized Difference Moisture Index (NDMI)	Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	Precipitação (mm)	Núcleo de Desertificação (ND)	UF
1985	34.29	-0.05	0.24	1105.99	Cabrobó	PE
1986	32.68	0	0.32	559.80	Cabrobó	PE
1987	40.13	-0.07	0.18	464.21	Cabrobó	PE
1988	35.20	-0.04	0.24	647.62	Cabrobó	PE
1989	35.58	-0.03	0.21	695.99	Cabrobó	PE
1990	34.89	-0.05	0.20	325.89	Cabrobó	PE
1991	33.10	-0.04	0.20	383.62	Cabrobó	PE
1992	32.26	-0.05	0.19	577.26	Cabrobó	PE
1993	37.41	-0.09	0.16	200.46	Cabrobó	PE
1994	35.76	-0.06	0.22	534.85	Cabrobó	PE
1995	32.16	-0.03	0.24	489.83	Cabrobó	PE
1996	30.03	-0.03	0.28	532.79	Cabrobó	PE
1997	38.43	-0.05	0.21	605.53	Cabrobó	PE
1998	38.23	-0.12	0.13	274.75	Cabrobó	PE
1999	35.83	-0.08	0.18	453.46	Cabrobó	PE
2000	36.87	-0.06	0.20	573.13	Cabrobó	PE
2001	37.99	-0.05	0.22	382.40	Cabrobó	PE
2002	36.25	-0.05	0.23	497.50	Cabrobó	PE
2003	40.37	-0.09	0.17	418.21	Cabrobó	PE
2004	40.29	-0.06	0.15	702.62	Cabrobó	PE
2005	41.50	-0.06	0.19	526.31	Cabrobó	PE
2006	37.06	-0.07	0.16	413.78	Cabrobó	PE
2007	35.46	-0.05	0.19	404.38	Cabrobó	PE
2008	34.35	-0.05	0.21	646.87	Cabrobó	PE
2009	39.26	-0.05	0.23	610.67	Cabrobó	PE
2010	35.75	-0.02	0.25	487.35	Cabrobó	PE
2011	37.03	-0.04	0.20	488.56	Cabrobó	PE
2012	41.37	-0.09	0.16	190.47	Cabrobó	PE
2013	40.88	-0.1	0.18	392.42	Cabrobó	PE
2014	38.19	-0.06	0.23	421.56	Cabrobó	PE

2015	44.05	-0.09	0.18	376.67	Cabrobó	PE
2016	41.97	-0.08	0.19	383.26	Cabrobó	PE
2017	40.73	-0.1	0.16	369.96	Cabrobó	PE
2018	38.90	-0.06	0.22	528.93	Cabrobó	PE
2019	40.94	-0.06	0.21	462.12	Cabrobó	PE
2020	36.36	-0.04	0.24	650.77	Cabrobó	PE
2021	32.97	-0.05	0.22	395.42	Cabrobó	PE
2022	31.86	0.01	0.32	521.81	Cabrobó	PE
2023	37.20	-0.05	0.23	430.08	Cabrobó	PE
2024	39.12	-0.04	0.24	558.89	Cabrobó	PE
1985	36.86	-0.01	0.28	1454.25	Irauçuba	CE
1986	29.18	0.04	0.28	1125.40	Irauçuba	CE
1987	37.04	-0.06	0.20	618.15	Irauçuba	CE
1988	31.33	-0.01	0.26	977.18	Irauçuba	CE
1989	30.88	-0.01	0.27	1042.03	Irauçuba	CE
1990	33.13	-0.03	0.25	488.79	Irauçuba	CE
1991	34.81	0.00	0.26	641.86	Irauçuba	CE
1992	20.80	-0.05	0.20	473.81	Irauçuba	CE
1993	36.95	-0.07	0.19	407.17	Irauçuba	CE
1994	32.47	0.03	0.26	913.38	Irauçuba	CE
1995	35.78	-0.04	0.20	839.21	Irauçuba	CE
1996	26.11	-0.00	0.27	860.44	Irauçuba	CE
1997	35.90	-0.08	0.21	524.80	Irauçuba	CE
1998	39.83	-0.13	0.13	397.16	Irauçuba	CE
1999	34.65	-0.04	0.19	717.76	Irauçuba	CE
2000	36.89	-0.05	0.19	776.74	Irauçuba	CE
2001	37.94	-0.05	0.16	645.21	Irauçuba	CE
2002	34.07	0.00	0.16	705.85	Irauçuba	CE
2003	37.83	-0.04	0.16	822.95	Irauçuba	CE
2004	37.88	-0.03	0.19	788.54	Irauçuba	CE
2005	40.52	-0.07	0.15	449.91	Irauçuba	CE
2006	38.15	-0.02	0.26	708.20	Irauçuba	CE
2007	36.75	-0.04	0.21	561.37	Irauçuba	CE
2008	32.80	-0.03	0.20	785.35	Irauçuba	CE
2009	34.29	-0.00	0.17	1258.41	Irauçuba	CE
2010	38.29	-0.04	0.22	445.27	Irauçuba	CE

2011	39.04	0.03	0.29	791.77	Irauçuba	CE
2012	36.87	-0.09	0.12	307.41	Irauçuba	CE
2013	37.83	-0.05	0.22	528.51	Irauçuba	CE
2014	39.18	-0.04	0.26	701.82	Irauçuba	CE
2015	39.69	-0.07	0.18	632.90	Irauçuba	CE
2016	39.66	-0.06	0.22	570.43	Irauçuba	CE
2017	38.78	-0.03	0.27	898.97	Irauçuba	CE
2018	36.36	-0.01	0.25	998.86	Irauçuba	CE
2019	37.93	-0.01	0.27	933.71	Irauçuba	CE
2020	34.19	0.00	0.27	970.20	Irauçuba	CE
2021	34.29	-0.01	0.26	603.11	Irauçuba	CE
2022	32.80	0.01	0.31	866.23	Irauçuba	CE
2023	33.52	-0.00	0.24	700.45	Irauçuba	CE
2024	36.79	0.01	0.33	834.41	Irauçuba	CE
1985	32.44	-0.07	0.14	1002.56	Seridó	RN
1986	31.17	-0.00	0.19	783.23	Seridó	RN
1987	33.75	-0.04	0.22	464.63	Seridó	RN
1988	31.65	-0.04	0.26	585.31	Seridó	RN
1989	32.51	-0.02	0.22	731.49	Seridó	RN
1990	36.32	-0.05	0.23	210.15	Seridó	RN
1991	35.38	-0.06	0.18	520.12	Seridó	RN
1992	17.57	-0.05	0.17	490.52	Seridó	RN
1993	34.22	-0.10	0.15	172.24	Seridó	RN
1994	29.75	-0.01	0.25	687.47	Seridó	RN
1995	30.49	-0.03	0.21	595.66	Seridó	RN
1996	29.86	-0.04	0.20	544.29	Seridó	RN
1997	34.90	-0.08	0.19	414.96	Seridó	RN
1998	40.68	-0.13	0.14	218.17	Seridó	RN
1999	37.41	-0.10	0.16	339.05	Seridó	RN
2000	36.62	-0.08	0.19	602.08	Seridó	RN
2001	37.39	-0.09	0.20	367.85	Seridó	RN
2002	38.54	-0.04	0.22	710.12	Seridó	RN
2003	37.81	-0.09	0.16	486.31	Seridó	RN
2004	33.58	-0.03	0.26	687.32	Seridó	RN
2005	34.61	-0.06	0.21	449.59	Seridó	RN
2006	36.60	-0.02	0.22	664.99	Seridó	RN

2007	38.88	-0.04	0.27	479.95	Seridó	RN
2008	31.39	-0.04	0.25	758.85	Seridó	RN
2009	34.10	0.01	0.31	927.48	Seridó	RN
2010	34.05	0.00	0.28	465.37	Seridó	RN
2011	33.88	-0.00	0.25	807.48	Seridó	RN
2012	38.37	-0.09	0.14	233.72	Seridó	RN
2013	39.37	-0.10	0.19	350.74	Seridó	RN
2014	33.66	-0.05	0.25	543.10	Seridó	RN
2015	41.51	-0.08	0.22	448.51	Seridó	RN
2016	40.01	-0.06	0.23	435.35	Seridó	RN
2017	38.99	-0.07	0.20	538.08	Seridó	RN
2018	37.80	-0.03	0.25	629.86	Seridó	RN
2019	38.68	-0.04	0.24	650.96	Seridó	RN
2020	36.10	-0.01	0.29	714.60	Seridó	RN
2021	36.25	-0.05	0.20	470.99	Seridó	RN
2022	35.20	0.00	0.31	744.22	Seridó	RN
2023	29.40	-0.01	0.26	578.29	Seridó	RN
2024	34.99	-0.01	0.34	606.29	Seridó	RN
1985	31.26	0.01	0.31	1363.87	Gilbués	PI
1986	30.72	0.01	0.30	856.57	Gilbués	PI
1987	32.90	0.02	0.33	948.54	Gilbués	PI
1988	25.01	0.02	0.30	975.87	Gilbués	PI
1989	29.57	0.01	0.31	1216.04	Gilbués	PI
1990	30.92	0.02	0.32	782.27	Gilbués	PI
1991	30.99	0.02	0.31	931.34	Gilbués	PI
1992	30.18	0.04	0.33	1227.40	Gilbués	PI
1993	28.94	0.02	0.31	914.03	Gilbués	PI
1994	30.65	0.00	0.30	1104.51	Gilbués	PI
1995	28.44	0.02	0.31	1151.34	Gilbués	PI
1996	28.09	0.03	0.32	868.42	Gilbués	PI
1997	33.36	0.02	0.30	1096.25	Gilbués	PI
1998	34.23	-0.02	0.28	863.12	Gilbués	PI
1999	33.35	-0.00	0.31	928.15	Gilbués	PI
2000	31.88	0.02	0.31	958.28	Gilbués	PI
2001	29.19	0.01	0.30	890.29	Gilbués	PI
2002	29.28	0.01	0.28	959.10	Gilbués	PI

2003	34.80	0.01	0.31	882.27	Gilbués	PI
2004	29.92	0.01	0.29	1232.19	Gilbués	PI
2005	32.03	0.01	0.29	1130.49	Gilbués	PI
2006	34.04	0.02	0.31	1143.95	Gilbués	PI
2007	34.31	-0.01	0.28	726.92	Gilbués	PI
2008	33.41	0.00	0.29	1185.84	Gilbués	PI
2009	35.86	0.01	0.31	1174.06	Gilbués	PI
2010	36.22	0.00	0.32	917.70	Gilbués	PI
2011	29.61	0.01	0.30	1139.92	Gilbués	PI
2012	36.87	-0.02	0.27	957.83	Gilbués	PI
2013	39.00	-0.01	0.31	1169.39	Gilbués	PI
2014	38.51	-0.01	0.32	1026.52	Gilbués	PI
2015	37.64	-0.01	0.31	1010.95	Gilbués	PI
2016	38.34	-0.00	0.32	930.21	Gilbués	PI
2017	36.47	0.00	0.32	1059.17	Gilbués	PI
2018	36.81	0.01	0.34	1097.98	Gilbués	PI
2019	35.86	0.01	0.33	972.10	Gilbués	PI
2020	35.70	0.02	0.34	1107.67	Gilbués	PI
2021	30.31	0.02	0.35	1148.93	Gilbués	PI
2022	32.57	0.02	0.33	947.65	Gilbués	PI
2023	33.76	0.01	0.32	776.30	Gilbués	PI
2024	36.65	0.02	0.36	1056.74	Gilbués	PI

Tabela 5 - Resultado das análises ambientais e climáticas das áreas com níveis críticos.

Ano	Land Surface Temperature (LST)	Normalized Difference Moisture Index (NDMI)	Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	Precipitação (mm)	UF
1985	40.06	-0.05	0.24	1105.99	PE
1986	31.90	0.02	0.30	559.80	PE
1987	35.54	-0.04	0.28	464.21	PE
1988	36.78	-0.01	0.27	647.62	PE
1989	30.99	0.02	0.29	695.99	PE
1990	32.11	-0.04	0.25	325.89	PE
1991	32.00	-0.06	0.19	383.62	PE
1992	24.57	0.01	0.17	577.26	PE
1993	32.69	-0.09	0.17	200.46	PE
1994	32.36	-0.00	0.18	534.85	PE
1995	32.63	-0.03	0.27	489.83	PE
1996	32.18	-0.04	0.22	532.79	PE
1997	33.14	-0.03	0.23	605.53	PE
1998	42.30	-0.11	0.16	274.75	PE
1999	36.34	-0.09	0.17	453.46	PE
2000	37.74	-0.03	0.26	573.13	PE
2001	35.63	-0.04	0.21	382.40	PE
2002	35.58	-0.01	0.23	497.50	PE
2003	37.49	-0.10	0.15	418.21	PE
2004	32.16	-0.02	0.29	702.62	PE
2005	35.34	-0.02	0.24	526.31	PE
2006	37.17	-0.04	0.24	413.78	PE
2007	33.12	-0.02	0.30	404.38	PE
2008	34.53	-0.04	0.22	646.87	PE
2009	34.85	-0.02	0.22	610.67	PE
2010	34.35	0.01	0.30	487.35	PE
2011	34.56	-0.00	0.26	488.56	PE
2012	34.60	-0.10	0.13	190.47	PE
2013	40.53	-0.07	0.24	392.42	PE
2014	36.23	-0.02	0.29	421.56	PE
2015	42.49	-0.08	0.22	376.67	PE

2016	38.83	-0.09	0.19	383.26	PE
2017	38.41	-0.05	0.25	369.96	PE
2018	38.29	-0.07	0.21	528.93	PE
2019	37.75	-0.04	0.25	462.12	PE
2020	34.65	0.02	0.31	650.77	PE
2021	35.89	-0.05	0.23	395.42	PE
2022	31.87	0.03	0.36	521.81	PE
2023	31.59	0.01	0.35	430.08	PE
2024	37.16	-0.02	0.32	558.89	PE
1985	33.79	0.02	0.28	1454.25	CE
1986	32.27	0.04	0.28	1125.40	CE
1987	36.99	-0.02	0.20	618.15	CE
1988	30.86	0.01	0.26	977.18	CE
1989	36.16	0.02	0.27	1042.03	CE
1990	36.80	-0.02	0.25	488.79	CE
1991	35.83	-0.01	0.26	641.86	CE
1992	29.63	-0.04	0.20	473.81	CE
1993	41.60	-0.08	0.19	407.17	CE
1994	35.91	0.04	0.26	913.38	CE
1995	32.78	0.01	0.20	839.21	CE
1996	32.49	0.00	0.27	860.44	CE
1997	36.77	-0.04	0.21	524.80	CE
1998	43.13	-0.11	0.13	397.16	CE
1999	38.62	-0.04	0.19	717.76	CE
2000	37.30	-0.03	0.19	776.74	CE
2001	38.90	-0.06	0.16	645.21	CE
2002	35.38	-0.00	0.16	705.85	CE
2003	42.66	-0.07	0.16	822.95	CE
2004	40.03	-0.02	0.19	788.54	CE
2005	40.15	-0.04	0.15	449.91	CE
2006	38.36	-0.03	0.26	708.20	CE
2007	36.94	0.00	0.21	561.37	CE
2008	36.03	-0.02	0.20	785.35	CE
2009	34.18	0.03	0.17	1258.41	CE
2010	36.66	0.01	0.22	445.27	CE
2011	35.90	0.02	0.29	791.77	CE

2012	39.67	-0.06	0.12	307.41	CE
2013	39.71	-0.04	0.22	528.51	CE
2014	39.95	-0.04	0.26	701.82	CE
2015	43.56	-0.06	0.18	632.90	CE
2016	41.42	-0.05	0.22	570.43	CE
2017	42.42	-0.05	0.27	898.97	CE
2018	39.13	-0.02	0.25	998.86	CE
2019	40.53	-0.03	0.27	933.71	CE
2020	36.94	0.01	0.27	970.20	CE
2021	34.58	0.00	0.26	603.11	CE
2022	35.32	0.03	0.31	866.23	CE
2023	34.83	0.00	0.24	700.45	CE
2024	38.53	0.02	0.33	834.41	CE
1985	32.93	0.05	0.14	1002.56	RN
1986	27.06	0.05	0.19	783.23	RN
1987	32.50	-0.02	0.22	464.63	RN
1988	27.55	0.02	0.26	585.31	RN
1989	27.92	0.01	0.22	731.49	RN
1990	32.71	0.01	0.23	210.15	RN
1991	27.21	-0.01	0.18	520.12	RN
1992	22.11	0.03	0.17	490.52	RN
1993	32.97	-0.09	0.15	172.24	RN
1994	29.77	0.06	0.25	687.47	RN
1995	30.12	0.03	0.21	595.66	RN
1996	26.99	-0.02	0.20	544.29	RN
1997	33.20	-0.06	0.19	414.96	RN
1998	36.38	-0.09	0.14	218.17	RN
1999	32.02	-0.07	0.16	339.05	RN
2000	29.10	-0.00	0.19	602.08	RN
2001	31.62	-0.05	0.20	367.85	RN
2002	30.55	0.00	0.22	710.12	RN
2003	34.71	-0.06	0.16	486.31	RN
2004	31.37	0.01	0.26	687.32	RN
2005	32.69	-0.03	0.21	449.59	RN
2006	33.96	-0.05	0.22	664.99	RN
2007	30.95	-0.01	0.27	479.95	RN

2008	29.69	-0.01	0.25	758.85	RN
2009	29.85	0.03	0.31	927.48	RN
2010	29.31	-0.02	0.28	465.37	RN
2011	29.44	0.04	0.25	807.48	RN
2012	32.74	-0.07	0.14	233.72	RN
2013	32.10	-0.01	0.19	350.74	RN
2014	32.82	-0.02	0.25	543.10	RN
2015	35.97	-0.05	0.22	448.51	RN
2016	35.60	-0.06	0.23	435.35	RN
2017	33.96	-0.04	0.20	538.08	RN
2018	31.86	-0.02	0.25	629.86	RN
2019	32.16	0.00	0.24	650.96	RN
2020	30.43	0.03	0.29	714.60	RN
2021	33.06	-0.05	0.20	470.99	RN
2022	29.94	0.04	0.31	744.22	RN
2023	30.93	0.01	0.26	578.29	RN
2024	32.82	0.03	0.34	606.29	RN
1985	35.26	-0.04	0.24	1363.87	PI
1986	38.65	-0.01	0.32	856.57	PI
1987	38.30	-0.04	0.18	948.54	PI
1988	36.74	-0.02	0.24	975.87	PI
1989	37.51	-0.02	0.21	1216.04	PI
1990	32.64	-0.06	0.20	782.27	PI
1991	37.09	-0.03	0.20	931.34	PI
1992	38.97	-0.06	0.19	1227.40	PI
1993	37.85	-0.08	0.16	914.03	PI
1994	35.27	-0.05	0.22	1104.51	PI
1995	34.41	-0.04	0.24	1151.34	PI
1996	33.17	-0.02	0.28	868.42	PI
1997	35.35	-0.04	0.21	1096.25	PI
1998	37.48	-0.10	0.13	863.12	PI
1999	39.61	-0.06	0.18	928.15	PI
2000	37.16	-0.06	0.20	958.28	PI
2001	33.38	-0.06	0.22	890.29	PI
2002	40.18	-0.06	0.23	959.10	PI
2003	40.85	-0.05	0.17	882.27	PI

2004	41.32	-0.07	0.15	1232.19	PI
2005	40.17	-0.06	0.19	1130.49	PI
2006	41.20	-0.06	0.16	1143.95	PI
2007	38.22	-0.03	0.19	726.92	PI
2008	34.67	-0.04	0.21	1185.84	PI
2009	39.69	-0.06	0.23	1174.06	PI
2010	43.37	-0.03	0.25	917.70	PI
2011	37.67	-0.03	0.20	1139.92	PI
2012	37.99	-0.10	0.16	957.83	PI
2013	40.79	-0.06	0.18	1169.39	PI
2014	43.74	-0.09	0.23	1026.52	PI
2015	45.51	-0.06	0.18	1010.95	PI
2016	42.16	-0.06	0.19	930.21	PI
2017	41.94	-0.08	0.16	1059.17	PI
2018	41.00	-0.04	0.22	1097.98	PI
2019	40.93	-0.04	0.21	972.10	PI
2020	39.78	-0.00	0.24	1107.67	PI
2021	38.14	-0.02	0.22	1148.93	PI
2022	38.78	-0.03	0.32	947.65	PI
2023	38.23	-0.03	0.23	776.30	PI
2024	38.60	-0.01	0.24	1056.74	PI
1985	31.47	0.03	0.36	982.10	BA
1986	30.94	-0.01	0.26	505.84	BA
1987	37.29	-0.04	0.22	481.39	BA
1988	29.90	0.03	0.33	651.54	BA
1989	30.36	0.02	0.25	813.86	BA
1990	30.36	0.02	0.30	390.04	BA
1991	31.84	0.02	0.29	603.09	BA
1992	31.86	0.00	0.22	783.15	BA
1993	34.99	-0.06	0.20	324.12	BA
1994	27.92	0.00	0.29	501.67	BA
1995	33.23	-0.02	0.21	567.82	BA
1996	29.63	-0.02	0.26	427.00	BA
1997	34.66	-0.02	0.27	727.97	BA
1998	35.60	-0.07	0.15	484.11	BA
1999	33.84	-0.04	0.25	527.12	BA

2000	31.49	0.02	0.31	694.10	BA
2001	37.05	-0.04	0.23	467.97	BA
2002	33.33	0.00	0.21	631.97	BA
2003	38.95	-0.05	0.23	434.74	BA
2004	36.66	-0.03	0.21	646.85	BA
2005	34.49	-0.02	0.26	630.40	BA
2006	34.54	0.00	0.29	610.67	BA
2007	33.17	-0.01	0.25	577.73	BA
2008	38.03	-0.05	0.20	559.08	BA
2009	37.68	-0.03	0.24	576.90	BA
2010	33.96	0.01	0.29	611.24	BA
2011	34.21	-0.03	0.20	500.92	BA
2012	37.01	-0.08	0.14	344.46	BA
2013	39.27	-0.06	0.20	561.33	BA
2014	36.91	-0.02	0.29	481.40	BA
2015	43.58	-0.05	0.23	464.30	BA
2016	36.54	-0.03	0.24	537.51	BA
2017	37.36	-0.05	0.21	377.96	BA
2018	35.95	-0.04	0.23	527.99	BA
2019	38.37	-0.03	0.24	436.95	BA
2020	34.96	0.03	0.31	731.95	BA
2021	33.42	0.00	0.27	533.20	BA
2022	32.01	0.01	0.31	610.68	BA
2023	36.74	-0.02	0.25	343.86	BA
2024	37.12	0.01	0.32	644.33	BA
1985	30.47	0.03	0.32	1202.92	PB
1986	26.46	0.10	0.41	1033.14	PB
1987	28.57	0.02	0.17	671.23	PB
1988	30.62	0.06	0.28	848.91	PB
1989	32.03	0.03	0.29	814.73	PB
1990	28.56	-0.01	0.28	535.81	PB
1991	33.29	0.01	0.17	636.67	PB
1992	11.93	0.03	0.24	717.40	PB
1993	29.50	-0.08	0.20	384.73	PB
1994	29.43	0.04	0.23	876.06	PB
1995	13.27	0.06	0.23	736.79	PB

1996	29.26	0.01	0.26	721.78	PB
1997	29.43	-0.01	0.25	651.72	PB
1998	33.50	-0.09	0.13	438.59	PB
1999	30.08	-0.08	0.14	560.59	PB
2000	29.00	0.01	0.24	1105.50	PB
2001	29.07	-0.04	0.21	603.35	PB
2002	30.60	-0.02	0.20	805.30	PB
2003	31.28	-0.05	0.16	758.20	PB
2004	28.00	0.04	0.36	1065.09	PB
2005	29.14	0.02	0.22	691.78	PB
2006	35.93	-0.05	0.18	655.38	PB
2007	32.42	0.01	0.28	819.29	PB
2008	30.26	-0.01	0.26	950.99	PB
2009	32.58	0.05	0.23	1017.75	PB
2010	31.50	-0.02	0.23	686.86	PB
2011	28.33	0.06	0.33	1197.46	PB
2012	34.21	-0.04	0.17	599.65	PB
2013	35.48	-0.02	0.19	887.50	PB
2014	32.28	-0.00	0.27	756.26	PB
2015	35.63	-0.03	0.24	725.47	PB
2016	33.11	-0.03	0.24	654.83	PB
2017	31.76	-0.02	0.27	614.89	PB
2018	33.84	-0.02	0.22	778.63	PB
2019	30.53	0.02	0.30	754.56	PB
2020	30.79	0.02	0.31	922.59	PB
2021	31.50	-0.04	0.22	528.23	PB
2022	29.40	0.05	0.33	1001.35	PB
2023	26.14	0.05	0.36	817.28	PB
2024	31.51	0.03	0.40	835.76	PB
1985	38.95	-0.07	0.26	931.88	AL
1986	31.36	-0.00	0.32	782.54	AL
1987	36.74	-0.04	0.26	535.31	AL
1988	36.79	-0.04	0.27	791.12	AL
1989	38.12	-0.02	0.26	1045.13	AL
1990	32.96	-0.05	0.25	525.04	AL
1991	35.81	-0.06	0.25	607.17	AL

1992	21.30	-0.05	0.23	707.13	AL
1993	32.75	-0.10	0.17	409.78	AL
1994	30.62	-0.01	0.34	753.35	AL
1995	34.10	-0.03	0.25	642.66	AL
1996	32.61	-0.04	0.29	717.66	AL
1997	32.90	-0.08	0.25	831.85	AL
1998	48.67	-0.13	0.19	442.61	AL
1999	36.73	-0.10	0.22	563.66	AL
2000	36.74	-0.08	0.25	800.33	AL
2001	36.59	-0.09	0.23	599.72	AL
2002	35.65	-0.04	0.23	879.83	AL
2003	39.23	-0.09	0.20	514.87	AL
2004	35.94	-0.03	0.27	725.99	AL
2005	34.86	-0.06	0.28	750.36	AL
2006	39.01	-0.02	0.24	694.40	AL
2007	32.63	-0.04	0.35	810.62	AL
2008	30.54	-0.04	0.22	778.60	AL
2009	38.22	0.01	0.23	870.25	AL
2010	33.15	0.00	0.31	812.21	AL
2011	34.44	-0.00	0.28	716.79	AL
2012	34.74	-0.09	0.15	436.82	AL
2013	37.35	-0.10	0.29	642.39	AL
2014	33.36	-0.05	0.33	620.48	AL
2015	41.98	-0.08	0.24	563.58	AL
2016	39.18	-0.06	0.22	553.52	AL
2017	38.53	-0.07	0.32	598.56	AL
2018	39.02	-0.03	0.22	503.00	AL
2019	38.49	-0.04	0.26	571.81	AL
2020	35.58	-0.01	0.31	791.82	AL
2021	37.15	-0.05	0.25	608.33	AL
2022	31.83	0.00	0.38	1169.57	AL
2023	30.03	-0.01	0.36	644.95	AL
2024	38.91	-0.01	0.32	782.03	AL
1985	33.18	-0.03	0.28	927.51	SE
1986	27.07	0.06	0.40	711.80	SE
1987	36.98	-0.04	0.23	512.61	SE

1988	34.33	-0.02	0.26	907.62	SE
1989	37.26	0.02	0.24	950.36	SE
1990	33.82	-0.02	0.25	497.00	SE
1991	34.93	0.01	0.26	597.82	SE
1992	25.50	0.02	0.24	691.02	SE
1993	34.75	-0.06	0.18	369.02	SE
1994	32.69	0.02	0.31	596.61	SE
1995	34.17	-0.00	0.22	580.06	SE
1996	32.08	-0.00	0.32	631.33	SE
1997	28.68	0.04	0.29	797.30	SE
1998	45.75	-0.02	0.20	457.88	SE
1999	36.01	-0.02	0.27	533.86	SE
2000	36.41	-0.02	0.27	694.91	SE
2001	38.63	-0.04	0.24	550.92	SE
2002	35.89	-0.01	0.19	708.08	SE
2003	40.35	-0.07	0.20	497.33	SE
2004	35.60	-0.02	0.27	594.47	SE
2005	33.63	0.02	0.32	658.89	SE
2006	35.20	-0.01	0.24	655.54	SE
2007	31.49	0.04	0.35	674.97	SE
2008	28.12	-0.05	0.20	646.12	SE
2009	36.31	-0.00	0.21	768.08	SE
2010	32.40	0.03	0.31	744.04	SE
2011	34.70	-0.00	0.30	658.48	SE
2012	35.64	-0.07	0.14	402.22	SE
2013	35.95	-0.01	0.29	632.07	SE
2014	34.21	0.00	0.34	547.29	SE
2015	42.85	-0.06	0.24	523.83	SE
2016	38.03	-0.07	0.19	548.31	SE
2017	37.82	-0.01	0.33	563.16	SE
2018	40.99	-0.08	0.24	507.35	SE
2019	38.90	-0.01	0.26	639.69	SE
2020	35.18	0.02	0.32	752.49	SE
2021	34.96	-0.02	0.24	538.44	SE
2022	31.80	0.04	0.40	768.14	SE
2023	30.34	0.01	0.35	507.04	SE

2024	37.71	0.00	0.31	662.79	SE
1985	32.38	0.00	0.35	1214.52	MG
1986	34.38	-0.06	0.21	512.27	MG
1987	29.99	-0.08	0.25	611.32	MG
1988	32.04	-0.01	0.30	640.37	MG
1989	37.04	-0.09	0.19	870.13	MG
1990	24.67	-0.02	0.27	565.24	MG
1991	36.14	-0.02	0.28	843.07	MG
1992	34.05	-0.03	0.31	1178.67	MG
1993	36.41	-0.05	0.27	405.61	MG
1994	37.01	-0.05	0.23	636.83	MG
1995	33.42	-0.08	0.22	819.98	MG
1996	36.05	-0.03	0.30	632.81	MG
1997	34.08	-0.03	0.27	837.20	MG
1998	37.51	-0.07	0.23	738.09	MG
1999	34.07	-0.07	0.21	650.77	MG
2000	36.62	-0.04	0.31	879.62	MG
2001	24.85	-0.01	0.33	619.36	MG
2002	37.02	-0.02	0.32	903.49	MG
2003	38.08	-0.04	0.31	508.32	MG
2004	36.82	0.01	0.30	906.96	MG
2005	36.75	-0.07	0.19	699.47	MG
2006	30.02	0.01	0.33	761.14	MG
2007	32.32	-0.05	0.22	654.84	MG
2008	37.32	-0.04	0.26	781.93	MG
2009	38.74	-0.04	0.29	756.22	MG
2010	32.19	-0.04	0.28	746.69	MG
2011	34.43	-0.04	0.25	723.14	MG
2012	35.14	-0.07	0.23	538.73	MG
2013	40.22	-0.09	0.25	884.04	MG
2014	40.63	-0.02	0.28	505.52	MG
2015	43.53	-0.10	0.24	382.41	MG
2016	35.21	0.00	0.33	621.92	MG
2017	41.03	-0.05	0.29	593.71	MG
2018	37.54	-0.01	0.32	781.29	MG
2019	38.75	-0.05	0.28	596.41	MG

2020	37.02	0.02	0.35	757.42	MG
2021	36.13	-0.01	0.30	766.81	MG
2022	34.16	0.02	0.37	847.42	MG
2023	36.87	-0.02	0.30	391.77	MG
2024	36.61	0.03	0.40	866.13	MG