



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Degradação da terra nos biomas Cerrado e Caatinga no contexto dos ODS

Nicolas de Mello Freitas

Relatório de Iniciação Científica do programa PIBIC, orientado pela Ma. Jocilene Dantas Barros e coorientado pelo Dr. Gustavo Felipe Balué Arcoverde e Dr. Evandro Albiach Branco.

INPE

São José dos Campos

2023

RESUMO

A degradação da terra é um fenômeno que impacta negativamente o meio ambiente, através da perda da produtividade e complexidade biológica e econômica da terra. Visando mitigar esse fenômeno, a ONU propôs a meta 15.3 do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 15, pela qual espera-se que até 2030 a humanidade tenha combatido a desertificação, restaurado a terra e o solo, e tenha lutado para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo. O presente trabalho tem como objetivo analisar espacialmente a degradação da terra nos biomas Cerrado e Caatinga, considerando a meta 15.3 do ODS 15. Foi realizada uma revisão bibliográfica acerca do tema e o indicador de degradação foi gerado para quatro períodos: 1992-2001, 2001-2010, 2010-2020 e 2001-2020, utilizando o plugin Trends.Earth no QGIS 3.16, com base na metodologia da UNCCD. Esse indicador foi gerado através de três subindicadores: produtividade do solo, carbono orgânico do solo (SOC) e uso e cobertura da terra. Os dados do subindicador de cobertura da terra foram baixados do Projeto MapBiomas para todos os períodos. O SOC utilizado foi o conjunto de dados padrão do Trends.Earth fornecidos pelo SoilGrids e Agência Espacial Europeia (CCI-LC), e, por fim, para a produtividade, foi utilizado o índice de vegetação dos sensores MODIS e o AVHRR, sendo que o AVHRR foi utilizado somente para o período de 1992 a 2001, e o MODIS foi utilizado nos demais períodos. Para gerar o indicador final, foi utilizado o método *One Out All Out* (1OAO), no qual se um pixel é classificado, por exemplo, como degradação em pelo menos um dos três subindicadores, o pixel do indicador final será classificado como degradação. O objetivo inicial seria obter o indicador para os biomas Cerrado e Caatinga, porém foi possível obtê-lo nos diferentes períodos para todo o território brasileiro, sendo gerado o indicador para as cinco regiões administrativas brasileiras (para facilitar o processamento dos dados). As regiões que mais abrangem os biomas Cerrado e Caatinga foram analisadas com maior detalhamento. Os resultados para o Brasil mostram que entre 1992 a 2020 houve um aumento nas áreas com melhoria, uma diminuição na degradação da terra e flutuações nas áreas estáveis. Durante o período compreendido entre 2001 e 2020, constatou-se que 17,08% do território brasileiro foi degradado, enquanto 50,10% da área permaneceu estável e 32,45% da área estudada

apresentou uma melhoria. Os resultados dos períodos de 1992 a 2001, 2001 a 2010 e 2010 a 2020 mostram melhorias no Nordeste, com uma redução da degradação ao longo dos três períodos e um aumento das áreas estáveis. No Centro-Oeste, houve uma consistente diminuição da degradação e uma tendência de melhoria. Portanto, para a região Centro-Oeste, que abriga boa parte do Cerrado, e para a região Nordeste, onde se encontra a Caatinga, verificou-se ao longo do tempo que as áreas degradadas tiveram regressão, o que é um sinal positivo rumo ao atingimento da meta 15.3 do ODS 15, que visa reverter o solo degradado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudo para elaboração do indicador de degradação	5
Figura 2: Matriz de Transição	10
Figura 3: Indicador de degradação ODS 15.3.1 (1992-2001)	15
Figura 4: Indicador de degradação ODS 15.3.1 (2001-2010)	16
Figura 5: Indicador de degradação ODS 15.3.1 (2010-2020)	17
Figura 6: Indicador de degradação ODS 15.3.1 (2001-2020)	18
Figura 7: Indicador de degradação para os biomas Cerrado e Caatinga (1992 - 2001)	20
Figura 8: Indicador de degradação para os biomas Cerrado e Caatinga (2001-2010)	21
Figura 9: Indicador de degradação para os biomas Cerrado e Caatinga (2010-2020)	23
Figura 10: Indicador de degradação para os biomas Cerrado e Caatinga (2001-2020)	25

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Lista de Tabela

Tabela 1: Área e percentual do indicador de degradação para as regiões do Brasil (1992-2001)	12
Tabela 2: Área e percentual do indicador de degradação para as regiões do Brasil (2001-2010)	12
Tabela 3: Área e percentual do indicador de degradação para as regiões do Brasil (2010-2020)	13
Tabela 4: Área e percentual do indicador de degradação para as regiões do Brasil (2001-2020)	13
Tabela 5: Percentual do indicador de degradação para o Brasil nos diferentes períodos	14

Lista de Quadros

Quadro 1: Agrupamento de classes de cobertura da terra	8
--	---

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Percentual do indicador de degradação para o Nordeste	26
Gráfico 2: Percentual do indicador de degradação para o Centro Oeste	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo geral	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
2 DESENVOLVIMENTO	3
2.1 Revisão Bibliográfica	3
2.1.1 Biomas	3
2.1.2 Degradação da terra nos biomas brasileiros	3
2.2 Caracterização da Área	4
2.3 Metodologia	6
2.3.1 Indicador de degradação	6
2.3.2 Subindicador cobertura da terra	7
2.3.3 Subindicador produtividade da terra	10
2.3.4 Subindicador carbono orgânico do solo	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	12
3.1 Brasil	12
3.2 Cerrado e Caatinga	19
4 CONCLUSÕES	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

A degradação da terra é um fenômeno que impacta negativamente 3,2 bilhões de pessoas em todas as partes do mundo, gerando consequências como a perda da fertilidade do solo, abandono de terras, diminuição da qualidade e quantidade da água e perda da biodiversidade, prejudicando a segurança alimentar e hídrica da população (IPBES, 2018). Ela é resultado de diversos fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas (UNCCD, 1994).

Visando mitigar esse fenômeno, a ONU propôs a meta 15.3 do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 15, que visa até 2030 “combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo” (IPEA, p.1, 2019).

A degradação da terra é definida por Sims et al. (2021, p. 19) como:

“perda ou redução da produtividade biológica ou econômica e complexidade de terras de cultivo de sequeiro, terras de cultivo irrigadas ou campos, pastagens, florestas e bosques resultantes de uma combinação de pressões, incluindo uso da terra e práticas de manejo.”

Os biomas Cerrado e Caatinga têm sido afetados negativamente pelas atividades humanas, tais como desmatamento, queimadas, agricultura sem práticas conservacionistas e sobrepastoreio (ARAÚJO; FERREIRA; ARANTES, 2012). Devido à sua localização em uma região semiárida, a Caatinga torna-se vulnerável à desertificação, com 4% da região semiárida nordestina incluída em áreas fortemente degradadas (BEZERRA et al., 2020), resultando em queda na produtividade agrícola e perda de biodiversidade (VIEIRA et al., 2015). Por outro lado, o Cerrado já perdeu metade de sua cobertura natural original, conforme observado por Almeida et al. (2020) e é o bioma mais afetado por queimadas no Brasil (ARAÚJO; FERREIRA; ARANTES, 2012).

Para monitorar o avanço da degradação nos biomas brasileiros, é importante gerar indicadores que sigam o guia de boas práticas da UNCCD. Este guia descreve métodos para medir e relatar o Indicador 15.3.1, “Proporção de terra que está degradada sobre a área total de terra.” (SIMS et al., p.5, 2021) e para obter este indicador de degradação da terra é necessário gerar três subindicadores, sendo eles o carbono orgânico do solo, em

inglês Soil Organic Carbon (SOC), produtividade do solo e cobertura da terra. Cada um dos três subindicadores aborda aspectos únicos da degradação.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é analisar espacialmente a degradação da terra nos biomas Cerrado e Caatinga considerando a meta 15.3 do ODS 15 - Vida Terrestre. Os indicadores gerados fornecem aos gestores públicos informações importantes sobre as áreas onde a degradação é mais significativa ou propensa a ocorrer, permitindo que medidas eficazes de mitigação ou prevenção sejam tomadas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar espacialmente a degradação da terra nos biomas Cerrado e Caatinga considerando a meta 15.3 do ODS 15 - Vida Terrestre.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Aplicar a metodologia Trends.Earth para gerar um indicador de degradação para os municípios dos biomas Cerrado e Caatinga;
- b) Verificar o comportamento temporal desse indicador de degradação;
- c) Avaliar a situação dos biomas estudados considerando a meta 15.3 do ODS 15 - Vida Terrestre.

No decorrer da pesquisa foi possível gerar o indicador para todo o Brasil, e não apenas para os municípios dos biomas Cerrado e Caatinga. Optou-se por apresentar os resultados para o Brasil e realizar uma análise mais detalhada para os limites dos biomas Cerrado e Caatinga, desconsiderando a delimitação municipal.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Biomas

Bioma é definido pelo IBGE (2023) como uma “área com dimensões normalmente superiores a um milhão de quilômetros quadrados em que o clima, a fisionomia da vegetação, o solo e a altitude são semelhantes ou aparentados”. O foco neste trabalho são os biomas Cerrado e Caatinga, que juntos correspondem a 33,8% dos biomas brasileiros (IBGE, 2023).

Segundo Coutinho (2006), bioma é uma área geográfica ampla, com características próprias que conferem a ele características únicas, tal como um macroclima homogêneo e bem definido, onde há uma vegetação predominante e uma fauna, além de outras condições ambientais (altitude, solo, etc).

2.1.2 Degradação da terra nos biomas brasileiros

A Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (SIMS et al., p.19, 2021) define a degradação da terra como a:

“perda ou redução da produtividade biológica ou econômica e complexidade de terras de cultivo de sequeiro, terras de cultivo irrigadas ou campos, pastagens, florestas e bosques resultantes de uma combinação de pressões, incluindo uso da terra e práticas de manejo.”

Diante da definição dada, este trabalho gerou indicadores do ODS 15, indicador 15.3.1 através do Trends.Earth, sendo que, os indicadores gerados respeitam o guia de boas práticas da UNCCD.

O indicador de degradação mede a proporção de terra degradada em uma superfície ao decorrer do tempo, ainda, o indicador de degradação gerado pelo trends.earth está alinhado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 15 e meta 15.3 que busca “até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo” (IPEA, p.1, 2019).

A degradação da terra afeta 20% do território Brasileiro (UNEP, 2010, p.72), e o Nordeste é a região mais afetada pela degradação da terra (Bezerra et. al., 2020). Segundo Vieira et. al. (2015) proximamente 57% do território nordestino está em processo de degradação de seus recursos naturais por conta dos intensos processos de uso da terra. Por outro lado, O Cerrado concentra 1/3 de todas as pastagens e criação bovina do Brasil (Santos et. al., 2022), e regiões com pastagens também são afetados pela degradação, pois a degradação ocasionada pelos pastos, ligadas a práticas inadequadas de manejo, é uma das causas principais da perda de produtividade no Brasil, além disso, as áreas ocupadas pelas pastagens e o desflorestamento estão correlacionados (Santos et. al., 2022).

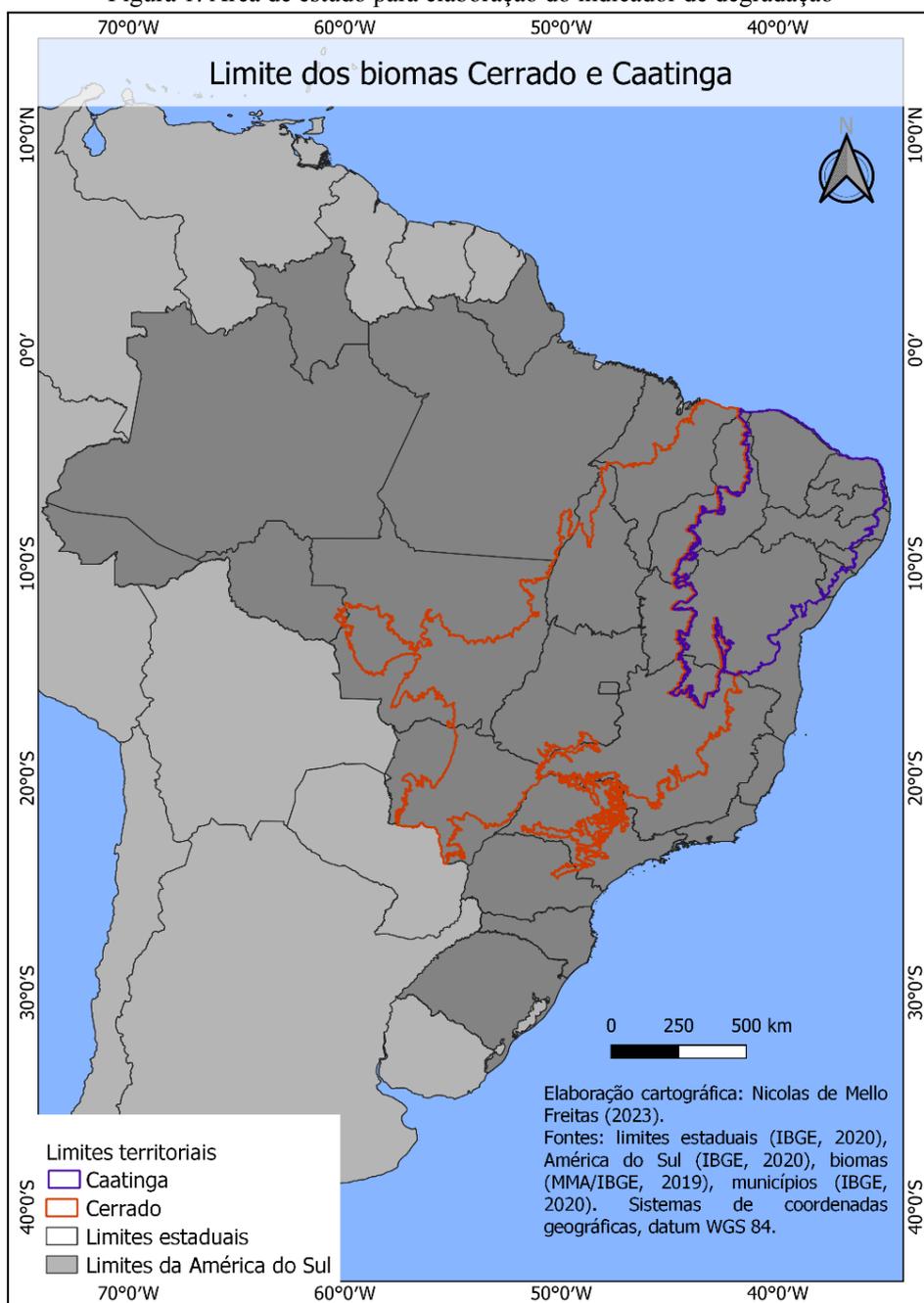
No período de 2002 a 2010, o bioma Cerrado teve a maior concentração de área queimada, aproximadamente 73% das áreas queimadas ocorreram neste bioma (ARAÚJO; FERREIRA; ARANTES, 2012) e quase 50% do bioma original do Cerrado foi desmatado (ALMEIDA et al., 2020). A degradação da terra aflige ambos os biomas, e tem impacto direto no ecossistema e também na população, já que a qualidade de vida da população afetada pela degradação da terra é reduzida (Bakr et al., 2012).

2.2 Caracterização da Área

A área de estudo para a elaboração do indicador de degradação compreende o Brasil (Figura 1) e foi feita uma análise mais aprofundada para os biomas Caatinga e Cerrado. A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, e possui uma biodiversidade endêmica (Bezerra et al, 2020), ocupando 12,14% do território nacional, cerca 845.453 km², sendo o território Nordestino e o norte de Minas Gerais as regiões ocupadas (Nascimento, 2015; IBGE, 2023).

O clima da Caatinga é o semiárido e a região ocupada pela caatinga condiz com a região Semiárida Brasileira (MMA, 2011), a qual tem três critérios importantes: “a) precipitação média anual inferior ou igual a 800 milímetros; b) índice de aridez de até 0,5 c) risco de seca maior que 60%” (Bezerra et al, 2020; MMA, 2011).

Figura 1: Área de estudo para elaboração do indicador de degradação



Fonte: Elaboração própria (2023).

Devido ao clima semiárido, a Caatinga é um bioma com constantes ameaças de desertificação. Segundo as Nações Unidas (United Nations, 1992, parágrafo 12.2), a “desertificação é a degradação da terra em áreas áridas, semiáridas e secas subúmidas resultante de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas”. Ademais, as temperaturas médias variam entre 25°C a 30°C, em algumas regiões, a seca

pode persistir de 7 a 10 meses sem ocorrência de chuvas, e as precipitações podem variar anualmente entre 400 mm a 800 mm (MMA, 2011).

A cobertura vegetal da Caatinga é classificada como savana estépica e, devido à escassez de chuvas, a vegetação nessas regiões apresenta folhas decíduas e troncos retorcidos, muitas vezes com galhos de tonalidade branca ou acinzentada (MMA, 2011; Tabarelli, 2018).

O Cerrado, por sua vez, é um bioma de savana (Coutinho, 2006) que ocupa cerca de 25% do território nacional, cerca de dois milhões de km² (Almeida et al., 2020). O clima do Cerrado é o clima tropical úmido e é marcado por uma forte sazonalidade, com estiagem que duram em média cinco meses e estação chuvosa que dura cerca de seis meses, com inverno seco e verão chuvoso (Lima et al., 2011; ISPN, 2023). O Cerrado é caracterizado por formações savânicas, florestais e campestres, com “uma formação aberta de árvores e arbustos baixos coexistindo com uma camada rasteira gramínea” (MMA, p.15, 2007), além disso, a média anual de precipitação no Cerrado é de aproximadamente 1.500 mm (MMA, 2007).

2.3 Metodologia

A metodologia Trends.Earth respeita o guia de boas práticas da UNCCD para reportar o ODS 15.3.1, sendo assim, o plugin Trends.Earth gera indicadores de degradação através de três subindicadores, sendo os três subindicadores: cobertura da terra, produtividade da terra e carbono orgânico do solo.

2.3.1 Indicador de degradação

O Trends.Earth gera o indicador para uma determinada área, como dito anteriormente, através da junção dos subindicadores produtividade da terra, cobertura da terra e SOC, sendo que cada subindicador é representado por arquivos raster com quatro classes: degradação, melhoria, estável e sem dados. Portanto, ao unir os raster dos subindicadores, o Trends.Earth utiliza o método *oneout-all-out* (1OAO), onde, se um pixel é classificado como degradação em pelo menos um dos três subindicadores, o pixel do indicador final será classificado como degradação; se não houver ao menos um

pixel classificado com degradação, mas houver ao menos um pixel dos três subindicadores classificados como melhoria, então o pixel do indicador final será classificado como melhoria; se todos os pixels estiverem classificados como neutros, o pixel do indicador final será classificado como neutro.

Foi gerado o mesmo indicador para quatro períodos (1992-2001, 2001-2010, 2010-2020 e 2001-2020), permitindo analisar as mudanças temporais e espaciais da degradação no Brasil. O indicador de degradação foi calculado para as cinco regiões do Brasil (Centro Oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul) para facilitar o processamento do computador, dividindo o Brasil em áreas menores, desconsiderando as ilhas que não possuem dados do Projeto Mapbiomas. As regiões que contêm os municípios dos biomas Cerrado e Caatinga foram analisadas com mais detalhe considerando que o objetivo da pesquisa é analisar a degradação nestes biomas.

O processamento foi feito inteiramente no QGIS versão 3.16, sendo que, para o período de 2001 a 2010, 2010 a 2020 e 2001 a 2020, o NDVI utilizado foi o MODIS, o SOC utilizado foi o conjunto de dados padrão do Trends.Earth fornecidos pela Agência Espacial Europeia CCI-LC, e por fim, o uso e cobertura da terra dos anos de 1992, 2001, 2010 e 2020 foram baixados no Mapbiomas. Para o período de 1992 a 2001, o uso e cobertura da terra e o SOC foram obtidos da mesma forma, mas o NDVI utilizado foi o AVHRR, a diferença entre o NDVI MODIS e AVHRR se dá pela precisão, já que a resolução do NDVI AVHRR é inferior ao MODIS.

Antes da geração dos indicadores para as regiões do Brasil, foram feitos testes com os seguintes estados: Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Goiás e São Paulo. Os testes foram realizados utilizando os dados fornecidos por padrão pelo Trends.Earth, e os dados customizados gerados e analisados por todos os integrantes deste trabalho, a fim de analisar os resultados do indicador, para só então gerar os indicadores para áreas maiores.

2.3.2 Subindicador cobertura da terra

O subindicador cobertura da terra avalia as mudanças na cobertura da terra comparando a cobertura de um ano inicial e um ano final (SIMS et al., 2021). Os dados de coberturas utilizadas foram baixados no Mapbiomas coleção 7 (PROJETO MAPBIOMAS, 2023),

sendo que foi utilizado o território brasileiro como cobertura para gerar os subindicadores de cobertura da terra, e os anos referentes às coberturas foram 1992, 2001, 2010 e 2020, cujo o pixel do raster tem o valor de 30m. As classes originais do Mapbiomas foram agrupadas em sete classes suportadas pelo plugin (Quadro 1).

Quadro 1: Agrupamento de classes de cobertura da terra.

Classe do Mapbiomas	Classe do Trends.Earth
Formação Florestal	Cobertura arbórea
Formação Savânica	Cobertura arbórea
Mangue	Cobertura arbórea
Restinga Arborizada	Cobertura arbórea
Campo Alagado e Área Pantanosa	Áreas úmidas
Formação Campestre	Pastagem
Apicum	Áreas úmidas
Afloramento Rochoso	Outros tipos de cobertura/solo exposto
Restinga Herbácea	Pastagem
Outras Formações não Florestais	Pastagem
Pastagem	Agricultura
Lavoura Temporária	Agricultura
Soja	Agricultura
Cana	Agricultura
Arroz	Agricultura
Algodão (beta)	Agricultura
Outras Lavouras Temporárias	Agricultura
Lavoura Perene	Agricultura
Café	Agricultura
Citrus	Agricultura
Outras Lavouras Perenes	Agricultura
Silvicultura (monocultura)	Agricultura
Mosaico de Usos	Agricultura
Praia, Duna e Areal	Outros tipos de cobertura/solo exposto
Área Urbanizada	Áreas artificiais
Mineração	Áreas artificiais
Outras Áreas não Vegetadas	Áreas artificiais
Rio, Lago e Oceano	Corpos d'água
Aquicultura	Agricultura
Não observado	Sem dados

Fonte: Elaboração própria (2023).

Todas as classes de vegetação arbórea ou arbustiva foram incluídas na classe Cobertura Arbórea e as classes de vegetação de porte predominantemente herbáceo na classe Pastagem, considerada como vegetação natural herbácea. As classes de tipos de agricultura e pastagem do Mapbiomas foram incluídas na classe Agricultura, por envolverem usos antrópicos. Em Outros tipos de cobertura/solo exposto foram incluídas as classes naturais que não possuem vegetação, sendo estas Afloramento Rochoso e Praia, Duna e Areal. No caso das Áreas artificiais, foram incluídas as classes de áreas construídas ou de solo exposto decorrente de ação antrópica. Os Corpos d'água envolveram o que foi mapeado pelo Mapbiomas como Rio, Lago e Oceano (Quadro 1). Para gerar o subindicador de cobertura da terra foi necessário preencher manualmente uma matriz de transições de uso e cobertura, indicando se cada transição significa uma piora na produtividade (degradação), melhoria na produtividade (melhoria) ou se não representa uma mudança na produtividade (estável). A figura 1 abaixo representa a matriz utilizada para gerar o subindicador em todos os períodos, com transições definidas a partir de discussões com a equipe da pesquisa. Em vermelho têm-se a classe degradação, em verde a classe melhoria, e em branco a classe estável.

A matriz produzida foi utilizada em todos os períodos para calcular os subindicadores de cobertura da terra, sendo que em cada período, após selecionar a matriz e a região de estudo, foi gerado dois arquivos raster sendo um o subindicador de degradação da cobertura da terra e o outro a transição da cobertura da terra.

Figura 2: Matriz de transição de uso e cobertura da terra

		cobertura da terra no ano-alvo						
		floresta	pastagem	terra de cultivo	zona húmida	artificial	solo exposto	água
floresta	0	-	-	-	-	-	0	
pastagem	+	0	-	0	-	0	0	
terra de cultivo	+	+	0	+	-	0	0	
zona húmida	0	0	-	0	-	0	0	
área artificial	+	+	+	+	0	+	0	
solo exposto	+	0	-	0	-	0	0	
água	0	0	0	0	0	0	0	

degradação	estável	melhoria
-	0	+

Fonte: Elaboração própria (2023).

2.3.3 Subindicador produtividade da terra

A produtividade da terra é “a capacidade produtiva biológica da terra, a principal fonte de comida, fibra e combustível da humanidade” (SIMS et al., p. 57, 2021). O subindicador de produtividade da terra analisa as mudanças a longo prazo da saúde e capacidade de produtividade da terra, essas mudanças são quantificadas por meio do uso de satélites de sensoriamento remoto e transformações de imagens que detectam a mudanças na produtividade (GPG; Sims et al., 2021).

Neste trabalho foram utilizados dados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (em inglês, NDVI), que mede a intensidade da vegetação utilizando uma proporção entre as bandas do vermelho e infravermelho. Nos períodos de 2001 a 2020, 2001 a 2010, e 2010 a 2020, foi utilizado o NDVI do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectrometer*) MOD13Q1 collection 6, sendo que a resolução do pixel do sensor MODIS é de 250m. Já no período de 1992 a 2001 foi utilizado o conjunto de dados do sensor AVHRR (*the Advanced Very High Resolution Radiometer*) GIMMS3g com resolução de 8km por pixel, pois neste período não existia o dado do MODIS.

A produtividade da terra é avaliada a partir de três medidas de mudanças derivadas dos dados da série temporal do NDVI: Trajetória, que é a taxa de mudança da produtividade primária ao longo do tempo; Estado, ou seja, a comparação da produtividade primária recente com um período de referência; e o Desempenho, definido como a comparação da área local com outras áreas com vegetação semelhantes que tenham o tipo de

vegetação ou regiões bioclimáticas semelhantes ao longo da área de estudo (Trends.Earth, 2023).

2.3.4 Subindicador carbono orgânico do solo

O carbono orgânico do solo está relacionado à qualidade do solo, ou seja, é um constituinte do solo que tem a capacidade de promover o crescimento de plantas, mantém o solo fértil reciclando os nutrientes, além de armazenar e limpar água doce (SIMS et al., 2021). O SOC também tem um impacto nas mudanças climáticas e na biodiversidade, de forma que, se for fornecido matéria orgânica fresca e adequada para decomposição, assim como a prevenção de perda excessiva, o SOC acaba por trazer benefícios ao clima e a ajuda a conservar a biodiversidade, por isso, quando há um uso inadequado e redução da entrada de matéria orgânica, o solo é levado a degradação, ou seja, o SOC está intimamente relacionado à degradação da terra, de forma que, se houver degradação da terra em um determinado local, então o SOC deste local degradado foi esgotado (SIMS et al., 2021).

Analisar mudanças no SOC é difícil, pois pode haver altas variabilidades espaciais das propriedades do solo, a falta de dados temporais sobre o SOC e outras complicações, acabam impedindo a avaliação do SOC em certos locais. Para evitar tais complicações, o Trends.Earth utiliza um método de cobertura de terra e SOC, para isso o mapa de cobertura da terra deve ser reclassificado para sete classes de cobertura da terra (floresta, pastagem, terra cultivável, zona húmida, área artificial, terra nua e água), e após as reclassificação é selecionado um mapa de um período inicial e um mapa de um período final, e por fim, é calculado a diferença relativa do SOC entre o período alvo e a linha de base, e caso a perda seja igual ou superior a 10%, a área é considerada potencialmente degradadas. Por outro lado, se o ganha é igual ou superior a 10% a área é considerada potencialmente melhorada (Trends.Earth, 2023). O indicador SOC não foi modificado, sendo utilizados os dados de Carbono Orgânico do SoilGrids (250m) e o dado de uso e cobertura da Agência Espacial Europeia, CCI-LC, que o próprio plugin disponibiliza.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O indicador de degradação foi gerado no QGIS através do plugin Trends.Earth para quatro períodos distintos, sendo eles 1992 a 2001, 2001 a 2010, 2010 a 2020 e 2001 a 2020. Além disso, as tabelas com os dados percentuais foram geradas para as cinco regiões do Brasil, e como já foi dito, a discussão teve enfoque nas regiões que contém os biomas Cerrado e Caatinga. Portanto, como os biomas Cerrado e Caatinga ocupam em grande parte as regiões Nordeste e Centro Oeste, as análises de padrões espaciais e áreas tiveram enfoque nessas regiões.

3.1 Brasil

Foram gerados quatro mapas do indicador de degradação para os diferentes períodos para todo o território brasileiro. Além do mais, foram geradas quatro tabelas do indicador de degradação para as regiões administrativa do Brasil. As tabelas 1, 2 e 3 mostram as áreas totais e percentuais de cada classe (degradação, melhoria, estável e sem dados) para as regiões brasileiras nos quatro períodos.

Tabela 1: Área e percentual do indicador de degradação para as regiões do Brasil (1992-2001)

1992-2001										
Classes	Norte		Nordeste		Centro Oeste		Sudeste		Sul	
	Área (km ²)	%								
Degradação	1.163.685,8	31,03%	363.127,4	23,62%	632.466,0	39,92%	350.858,8	38,54%	212.993,8	38,58%
Estável	2.313.577,1	61,69%	924.757,1	60,15%	782.419,2	49,38%	414.553,3	45,54%	277.115,7	50,19%
Melhoria	252.271,6	6,73%	241.889,5	15,73%	167.656,2	10,58%	141.880,5	15,58%	57.094,3	10,34%
Sem dados	21.042,0	0,56%	7.547,7	0,49%	1.990,6	0,13%	3.111,8	0,34%	4.942,6	0,90%
Área total	3.750.576,4	100,00%	1.537.321,7	100,00%	1.584.532,0	100,00%	910.404,5	100,00%	552.146,4	100,00%

Fonte: Elaboração própria (2023).

Tabela 2: Área e percentual do indicador de degradação para as regiões do Brasil (2001-2010)

2001-2010										
Classes	Norte		Nordeste		Centro Oeste		Sudeste		Sul	
	Área (km ²)	%								
Degradação	856.636,3	22,85%	289.522,7	18,86%	360.724,7	22,74%	104.751,0	11,52%	180.592,8	32,71%
Estável	2.614.613,3	69,73%	932.830,8	60,77%	1.047.443,0	66,03%	587.960,6	64,64%	304.018,9	55,07%
Melhoria	260.881,2	6,96%	309.205,6	20,14%	175.907,6	11,09%	214.836,5	23,62%	65.004,6	11,77%
Sem dados	17.544,2	0,47%	3.359,7	0,22%	2.165,2	0,14%	2.045,0	0,22%	2.474,8	0,45%
Área total	3.749.674,9	100,00%	1.534.918,8	100,00%	1.586.240,5	100,00%	909.593,1	100,00%	552.091,0	100,00%

Fonte: Elaboração própria (2023).

Tabela 3: Área e percentual do indicador de degradação para as regiões do Brasil (2010-2020)

Classes	2010-2020									
	Norte		Nordeste		Centro Oeste		Sudeste		Sul	
	Área (km ²)	%								
Degradação	379.548,3	10,11%	175.676,3	11,43%	180.610,2	11,37%	92.869,7	10,20%	89.093,7	16,14%
Estável	2.116.781,4	56,41%	1.091.964,80	71,03%	726.729,1	45,73%	567.179,9	62,28%	253.215,0	45,87%
Melhoria	1.237.517,9	32,98%	265.610,60	17,28%	679.259,4	42,74%	248.307,6	27,26%	207.072,9	37,51%
Sem dados	18.797,4	0,50%	4.039,9	0,26%	2.525,0	0,16%	2.402,7	0,26%	2.640,7	0,48%
Área total	3.752.645,0	100,00%	1.537.291,7	100,00%	1.589.123,7	100,00%	910.759,9	100,00%	552.022,3	100,00%

Fonte: Elaboração própria (2023).

Tabela 4: Área e percentual do indicador de degradação para as regiões do Brasil (2001-2020)

Classes	2001-2020									
	Norte		Nordeste		Centro Oeste		Sudeste		Sul	
	Área (km ²)	%								
Degradação	519.135,7	13,83%	366.501,2	23,84%	294.965,0	18,56%	136.098,1	14,94%	108.791,5	19,71%
Estável	2.060.988,3	54,92%	937.747,9	61,00%	574.646,4	36,16%	405.637,9	44,54%	199.967,3	36,23%
Melhoria	1.153.859,8	30,75%	229.053,5	14,90%	717.006,5	45,12%	366.643,0	40,26%	240.673,5	43,60%
Sem dados	18.661,3	0,50%	3.989,0	0,26%	2.505,7	0,16%	2.380,9	0,26%	2.540,3	0,46%
Área total	3.752.645,0	100,00%	1.537.291,7	100,00%	1.589.123,7	100,00%	910.759,9	100,00%	551.972,6	100,00%

Fonte: Elaboração própria (2023).

A partir dos dados obtidos das tabelas, foi gerada uma tabela contendo os dados percentuais do indicador de degradação para o território Brasileiro (Tabela 5). Segundo a tabela 5, nos períodos de 1992 - 2001, 2001 - 2010 e 2010 - 2020, os resultados indicam uma possível tendência de redução da área degradada ao longo do tempo, especialmente entre 2010 e 2020. Além disso, a área estável mostrou uma variação ao longo dos períodos, enquanto a área de melhoria aumentou significativamente durante o último período analisado.

Tabela 5: Percentual do indicador de degradação para o Brasil nos diferentes períodos

	1992 - 2001	2001 - 2010	2010 - 2020	2001 - 2020
Área degradada	2.723.131,90	1.792.227,4	917.798,1	1.425.491,6
Área total	8.334.981,00	8.332.518,4	8.341.842,5	8.341.792,8
% Área degradada	32,67112285	21,50883282	11,00234313	17,08855191

	1992 - 2001	2001 - 2010	2010 - 2020	2001 - 2020
Área estável	4.712.422,4	5.486.866,6	4.755.870,16	4.178.987,8
Área total	8.334.981,0	8.332.518,4	8.341.842,5	8.341.792,8
% Área estável	56,53789029	65,84883909	57,01222676	50,09699793

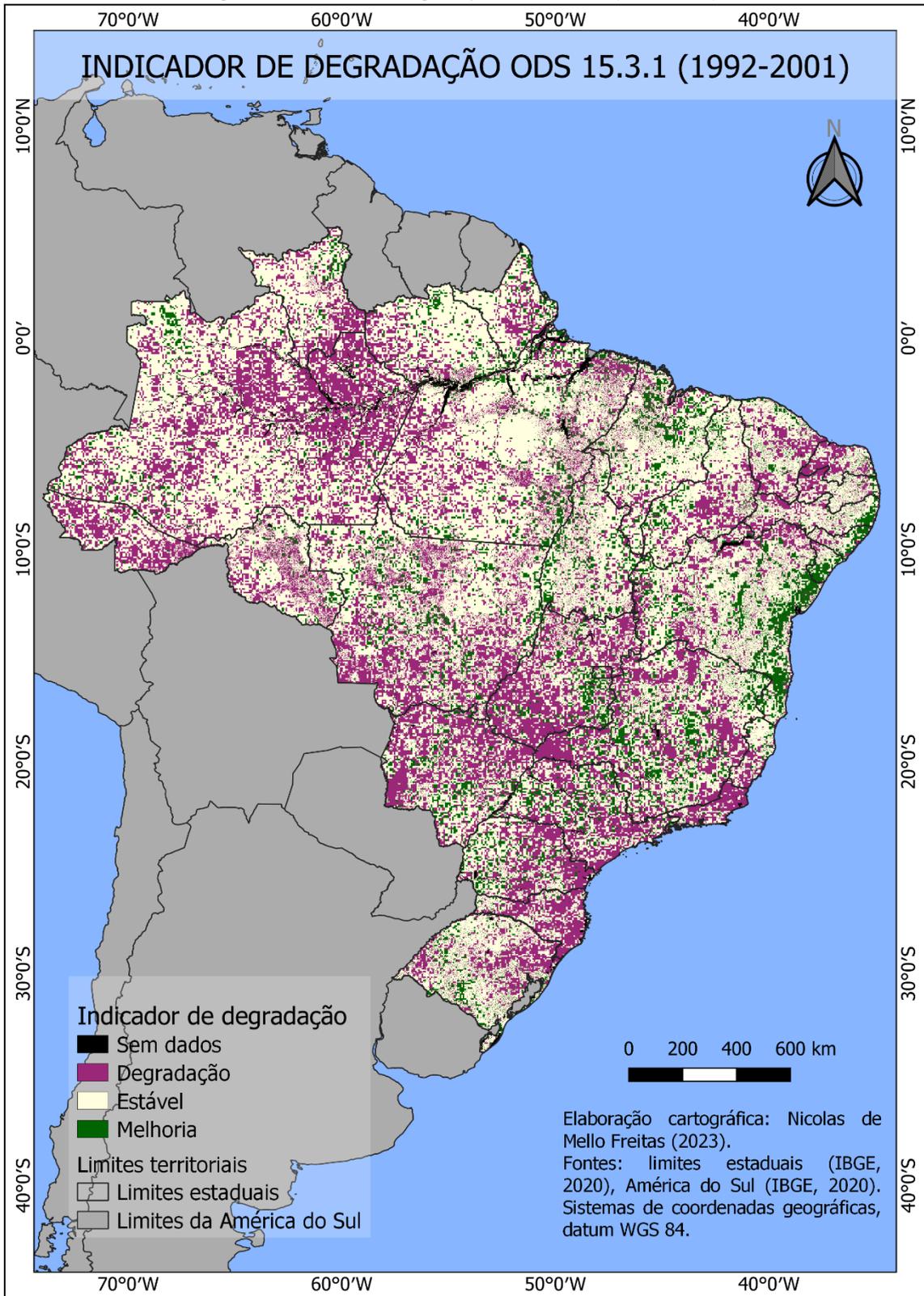
	1992 - 2001	2001 - 2010	2010 - 2020	2001 - 2020
Área melhoria	860.792,1	1.025.835,5	2.637.768,38	2.707.236,2
Área total	8.334.981,0	8.332.518,4	8.341.842,5	8.341.792,8
% Área melhoria	10,32746345	12,31122966	31,6209324	32,45388973

Fonte: Elaboração própria (2023).

As figuras 3 a 6 mostram a distribuição do indicador de degradação para todo o Brasil nos quatro períodos analisados. No período de 1992-2001 (Figura 3) é possível observar uma maior concentração de área degradada, cabe ressaltar que nesse período o sensor utilizado para gerar o indicador de produtividade da terra tinha um tamanho de pixel maior, o que pode ter interferido no tamanho das áreas degradadas.

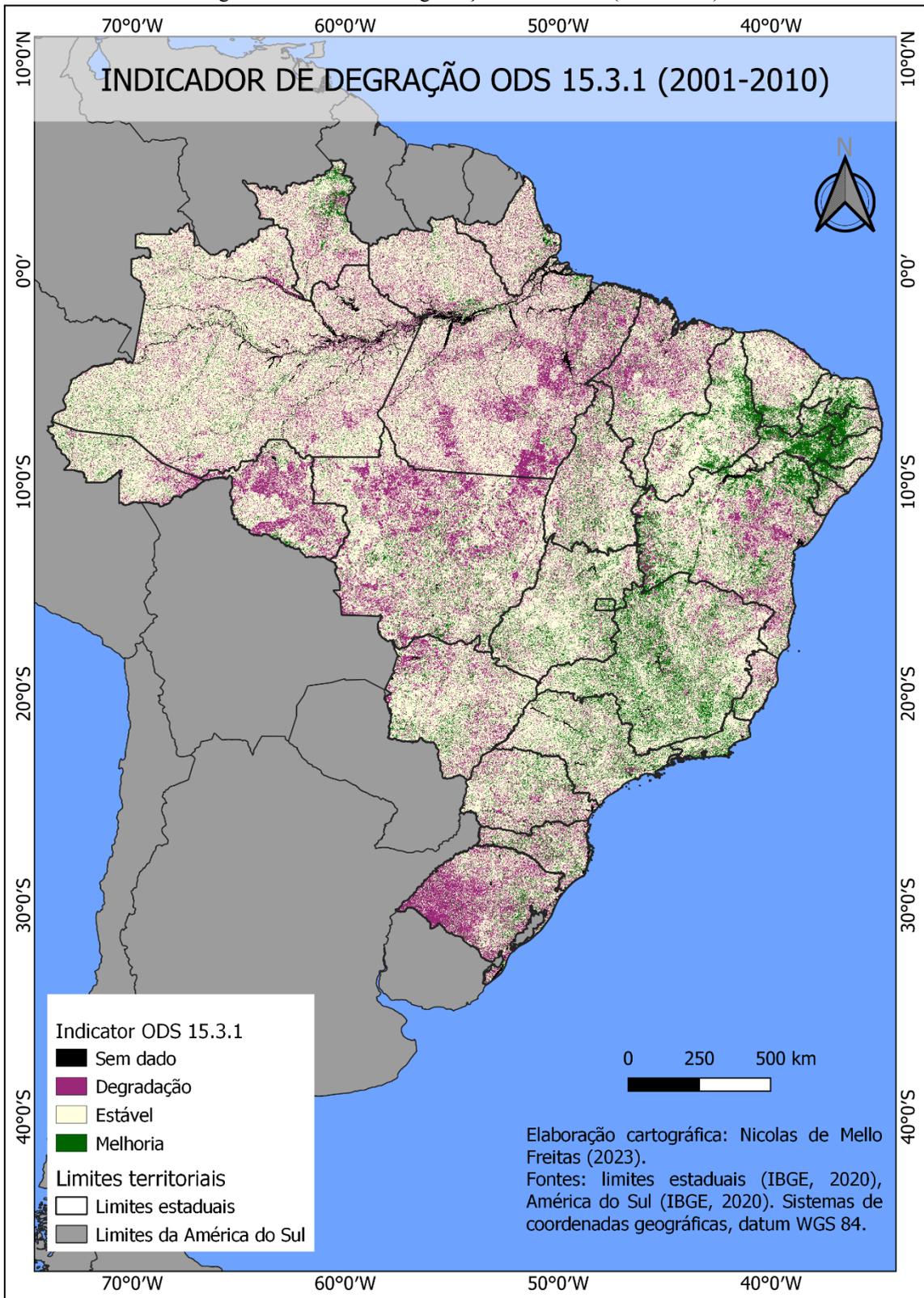
O período de 2010-2020 (Figura 5) apresentou mais áreas de melhoria em comparação com o período de 2001-2010 (Figura 4), exceto no Nordeste onde a melhoria foi mais clara em 2001-2010. A figura 6 mostra o indicador de degradação para um período maior, de 2001 a 2020, na qual é mais evidente as áreas degradadas nas regiões norte e nordeste.

Figura 3: Indicador de degradação ODS 15.3.1 (1992-2001)



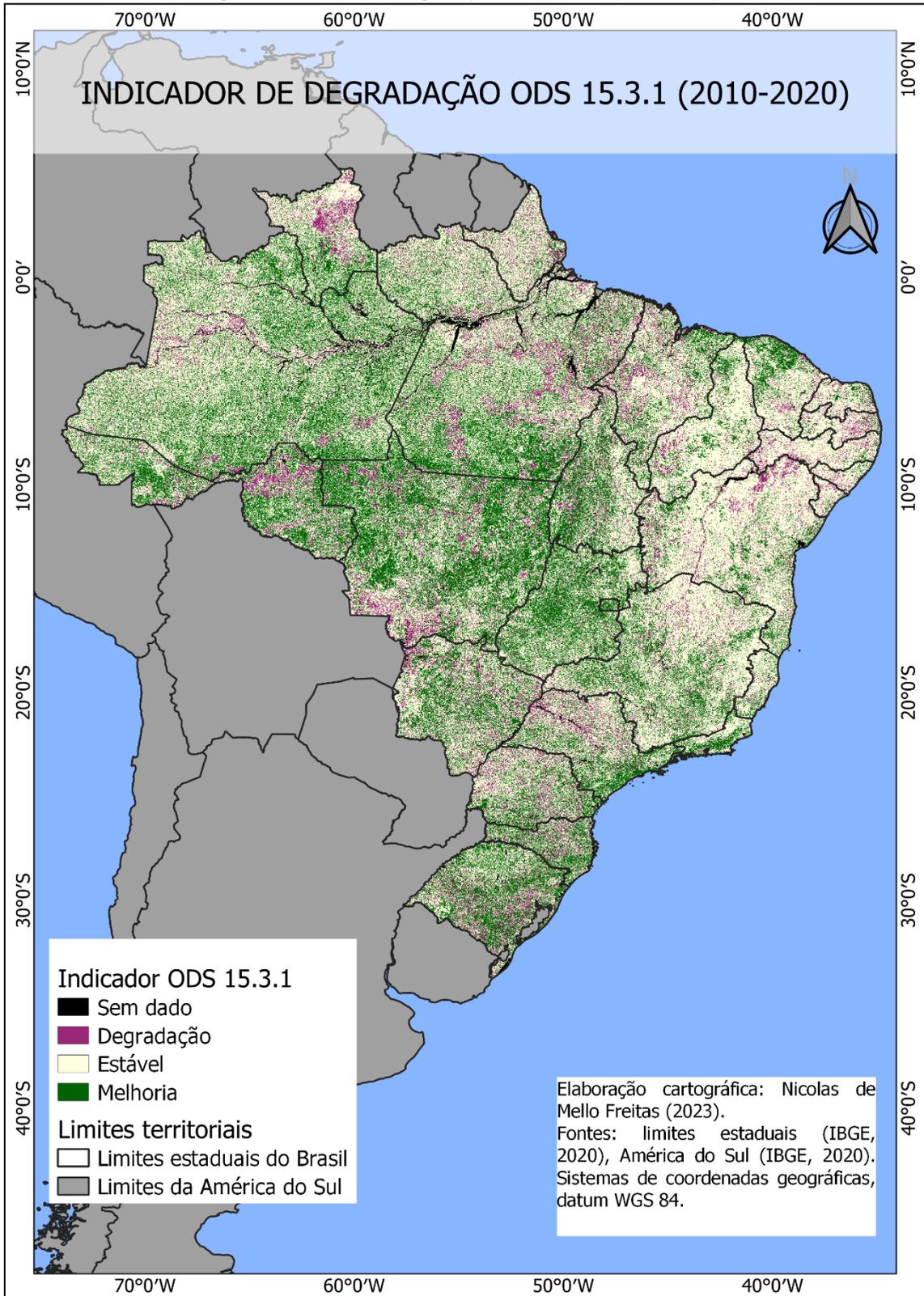
Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 4: Indicador de degradação ODS 15.3.1 (2001-2010)



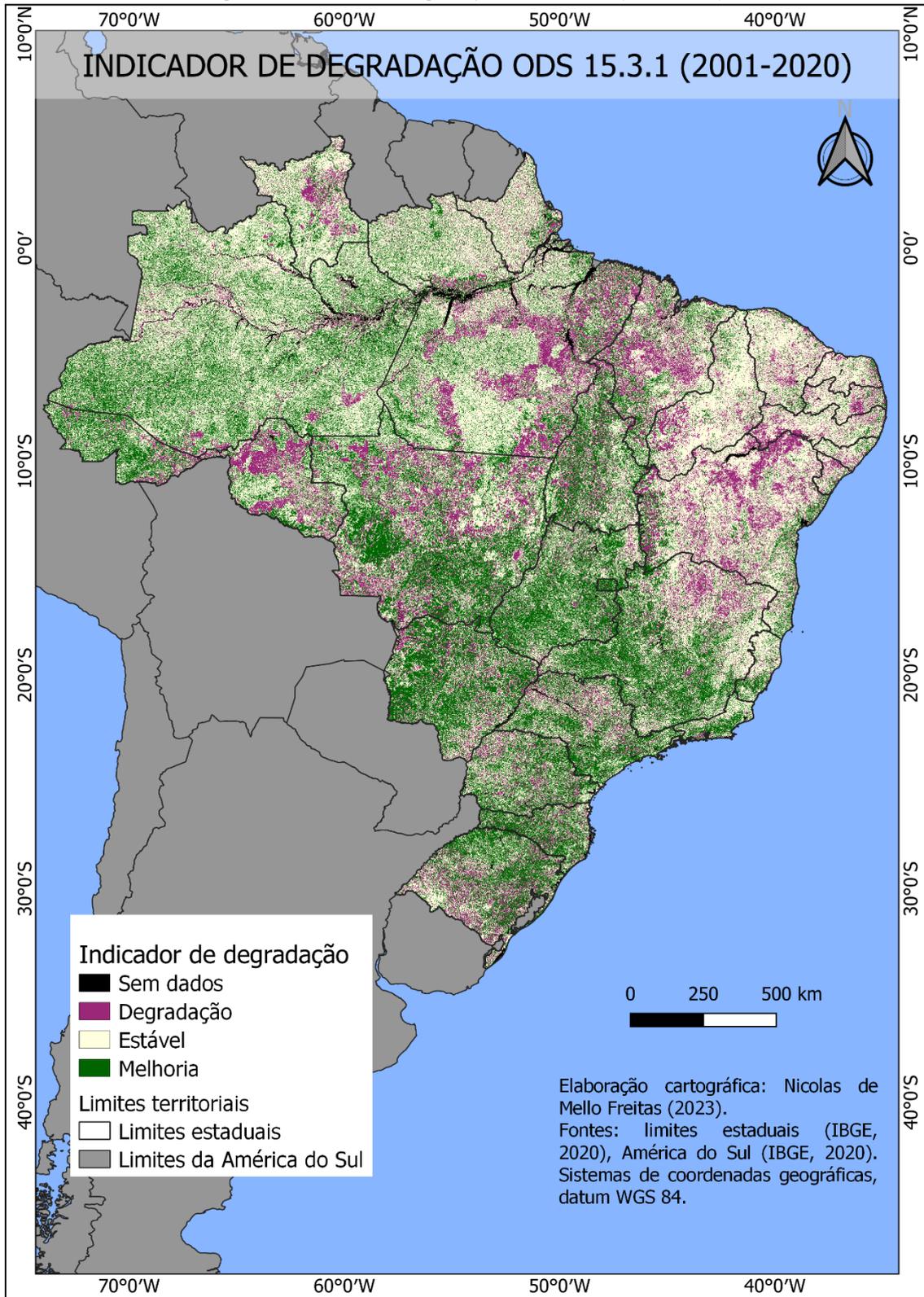
Fonte: Elaboração própria (2023)

Figura 5: Indicador de degradação ODS 15.3.1 (2010-2020)



Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 6: Indicador de degradação ODS 15.3.1 (2001-2020)



Fonte: Elaboração própria (2023)

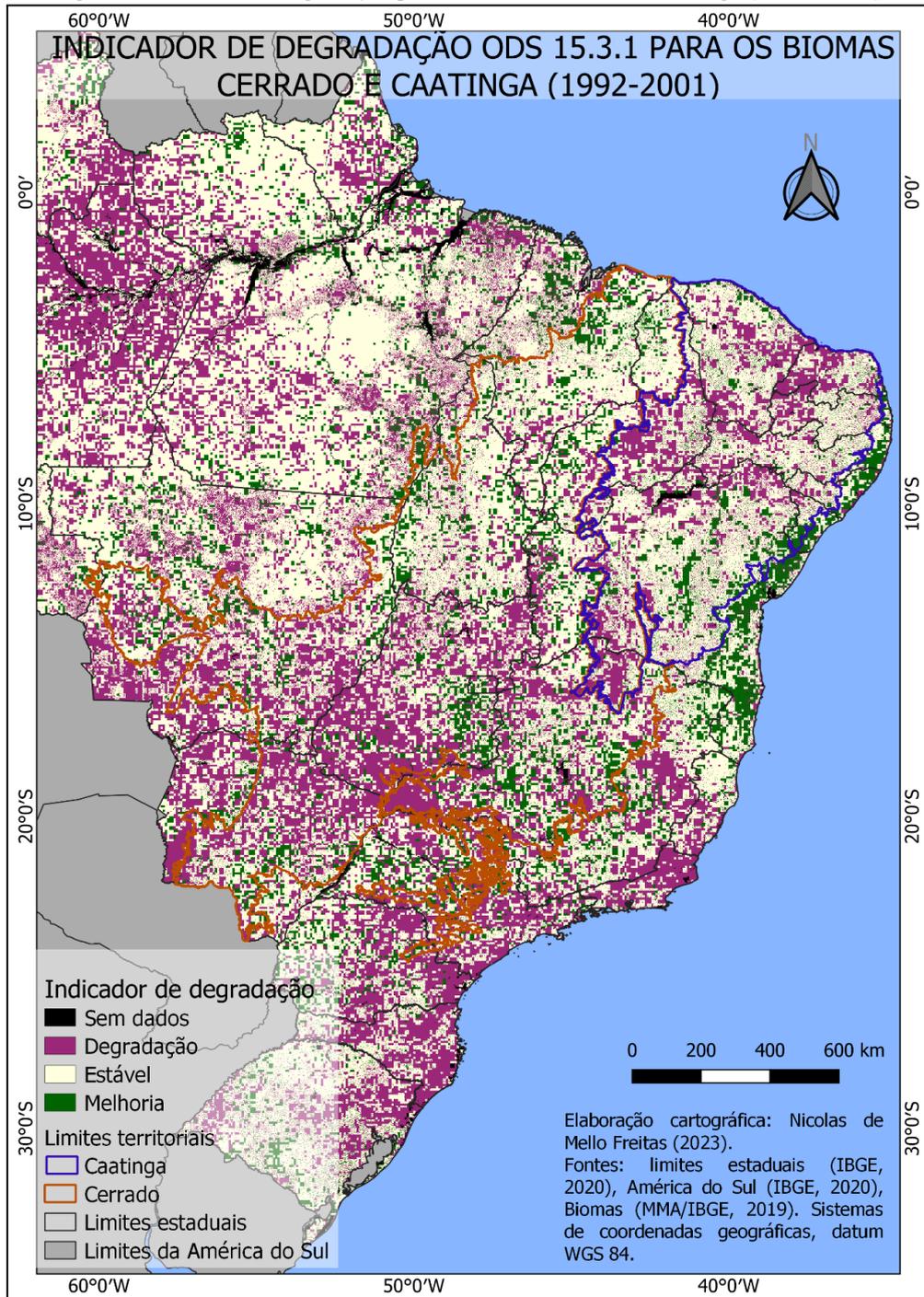
3.2 Cerrado e Caatinga

Foram gerados quatro mapas a partir dos mapas do indicador de degradação para o Brasil, os mapas gerados se tratam do indicador de degradação para os biomas Cerrado e Caatinga.

No bioma Caatinga, de acordo com a Figura 7, foram identificadas áreas com níveis acentuados de degradação no Norte e Oeste do Rio grande do Norte; Oeste da Paraíba; Norte e Sudoeste de Pernambuco; Norte de Sergipe; Norte e Sudoeste da Bahia; Centro e Sudeste do Piauí; Norte de Minas Gerais. Em relação à melhoria da degradação, apenas dois estados apresentaram melhorias consideráveis: Bahia e Ceará. Na Bahia, as regiões com melhorias estiveram mais concentradas no centro do estado, enquanto no Ceará, os pontos de melhoria foram identificados predominantemente no centro e norte do estado. Segundo os dados apresentados na Tabela 1, a região Nordeste possui um percentual de degradação da terra de 23,62%, enquanto que o percentual de melhoria é de 15,73%.

No bioma Cerrado, as áreas com maior evidência de degradação foram o Centro e Sudeste de Mato Grosso; Nordeste e Sudoeste de Goiás; Sul do Maranhão; Oeste da Bahia; Oeste e Noroeste de Minas Gerais; Centro e Nordeste do Mato Grosso do Sul. Por outro lado, as regiões com melhoria em relação à degradação, foram: Norte e Centro do Maranhão; Leste e Oeste de Tocantins; Sudeste de Goiás e Oeste do Distrito Federal; Norte e Sudoeste do Piauí; Oeste da Bahia; Centro Sul do Mato Grosso do Sul, Centro e Oeste de Minas Gerais e Centro de São Paulo. De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, a região Centro-Oeste apresenta um percentual de degradação da terra de 39,92% e um percentual de melhoria de apenas 10,58%.

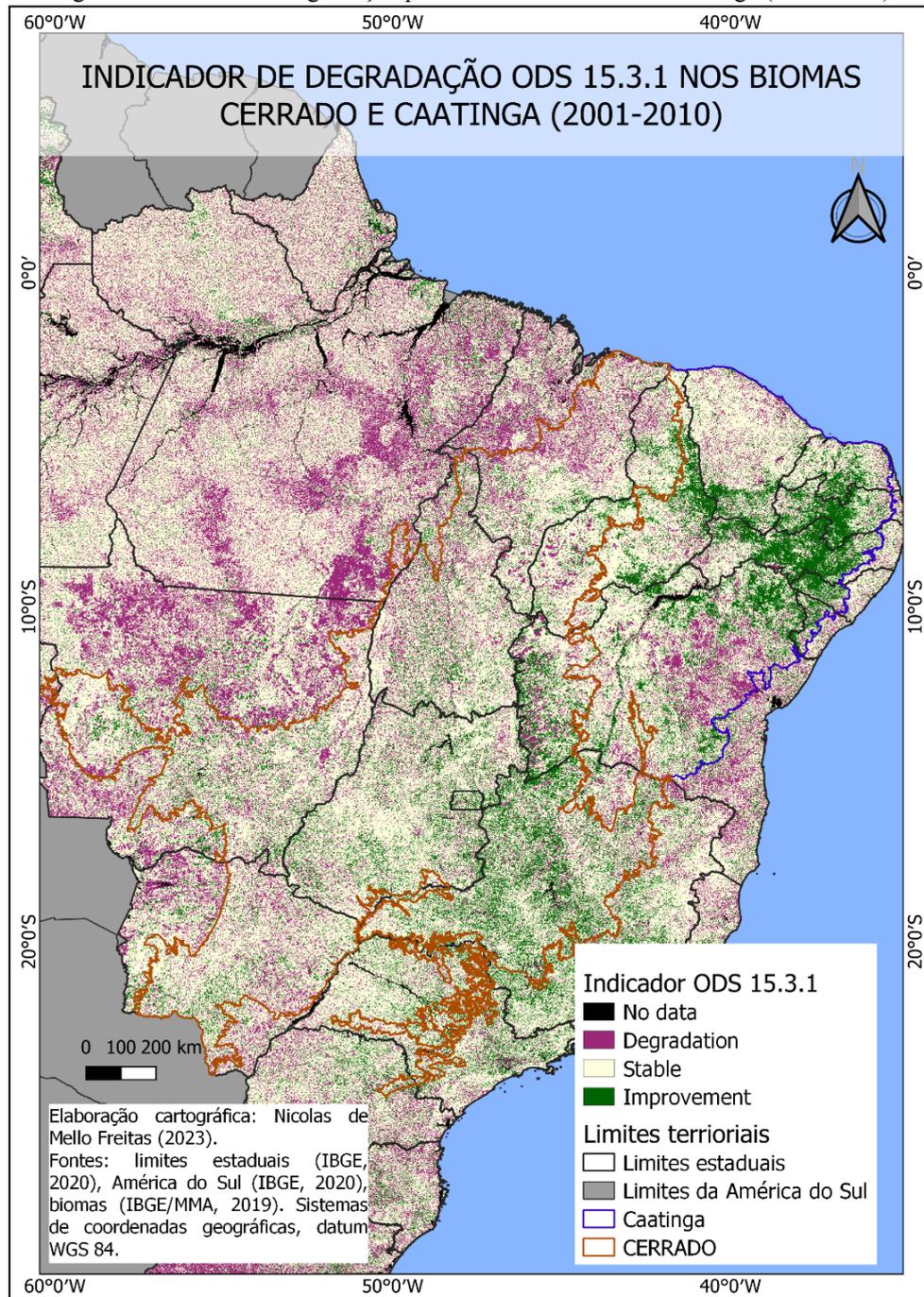
Figura 7: Indicador de degradação para os biomas Cerrado e Caatinga (1992 - 2001)



Fonte: Elaboração própria (2023).

Abaixo é possível visualizar os mapas gerados para o período de 2001 a 2010, a figura 8 o mapa do indicador de degradação para os biomas Cerrado e Caatinga.

Figura 8: Indicador de degradação para os biomas Cerrado e Caatinga (2001-2010)



Fonte: Elaboração própria (2023).

No bioma Caatinga, de acordo com a Figura 8, o Centro e Sudeste da Bahia foi a região com maior presença de degradação. Quanto à melhoria da degradação, algumas regiões tiveram grandes áreas de melhoria, entre elas se destacam: o Sul do Rio Grande do Norte, Centro de Paraíba, Norte e o Centro de Pernambuco, Noroeste de Sergipe, Norte da Bahia, Norte de Alagoas, Nordeste de Piauí, e o Sul do Ceará. De acordo com os

dados apresentados na Tabela 2, a região Nordeste possui um percentual de degradação da terra de 18,86%, enquanto que o percentual de melhoria é de 20,14%.

No bioma Cerrado, as regiões com foco de degradação, segundo a Figura 8, foram: o Centro e Nordeste de Maranhão, Nordeste do Mato Grosso, Oeste do Mato Grosso do Sul e por fim, Norte e Sudoeste de Piauí. Em relação à melhoria da degradação, as regiões com melhoria foram: Toda a região de Minas Gerais onde o bioma está inserido; Norte de Piauí; Centro e Sudeste do Mato Grosso; Sul, Centro, Leste e Norte de Goiás; Toda a região do Distrito Federal; Sul de Tocantins. Segundo a Tabela 2, a região Centro-Oeste apresenta um percentual de degradação da terra de 22,74% e um percentual de melhoria de apenas 11,09%.

Durante o período de 2001 a 2010, a Figura 8 indica que os resultados de melhoria para o Nordeste foram superiores ao padrão visto nos demais mapas. Essa mudança no padrão do mapa pode ser atribuída ao fenômeno meteorológico La Niña. O La Niña é um fenômeno que ocorre quando as águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial ficam mais frias do que o normal, resultando em alterações nos padrões de temperatura e precipitação em todo o mundo (FREIRE; LIMA; CAVALCANTI, 2011). O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE, 2023) registrou os últimos eventos de La Niña nos anos de 1999-2000, 2007-2008 e 2010-2011. De acordo com Freire, Lima e Cavalcanti (2011), o evento La Niña que ocorreu em 2008 foi categorizado como intenso e provocou chuvas significativas na região Nordeste. Devido ao La Niña, o Nordeste brasileiro, sobretudo na Caatinga, recebeu mais precipitação do que o normal e essa maior quantidade de chuvas favoreceu o desenvolvimento da vegetação, influenciando no subindicador de produtividade da terra, o que pode explicar os resultados positivos de melhoria observados no período de 2001 a 2010 na Caatinga.

A seguir são apresentados o mapa gerado para o período de 2010 a 2020, sendo a figura 9 o mapa do indicador de degradação os biomas Cerrado e Caatinga.

Figura 9: Indicador de degradação para os biomas Cerrado e Caatinga (2010-2020)



Fonte: Elaboração própria (2023).

No bioma Caatinga, de acordo com a Figura 9, a região com focos de degradação foram: Centro-sul do Ceará, Norte do Rio Grande do Norte, nas regiões geográficas intermediárias de João Pessoa e Campina Grande da Paraíba, Oeste e Centro de Pernambuco, Oeste de Pernambuco, Norte da Bahia, Centro de Alagoas, e por fim,

Norte de Sergipe. Quanto à melhoria da degradação, algumas regiões tiveram grandes focos de melhoria, entre eles se destacam: o Noroeste e Norte de Maranhão, Centro do Piauí, Norte do Rio Grande do Norte, e Sul da Bahia. Segundo os dados apresentados na Tabela 3, a região Nordeste possui um percentual de degradação da terra de 11,43%, enquanto que o percentual de melhoria é de 17,28%.

No bioma Cerrado, as regiões com foco de degradação da terra, segundo a Figura 9, foram: o Sudoeste de Piauí; Norte e Nordeste do Mato Grosso do Sul; Leste do Mato Grosso; Sudoeste de Tocantins; região ao Oeste da Bahia; e Leste, Oeste e Sul do Maranhão. Em relação à melhoria da degradação, as regiões com melhoria foram: Toda a região de Goiás e do Distrito Federal; Centro, Sul e Oeste de Tocantins; Sul do Maranhão; Centro e Oeste de Minas Gerais. Segundo a Tabela 3, a região Centro-Oeste apresenta um percentual de degradação da terra de 11,37% e um percentual de melhoria de 42,74%.

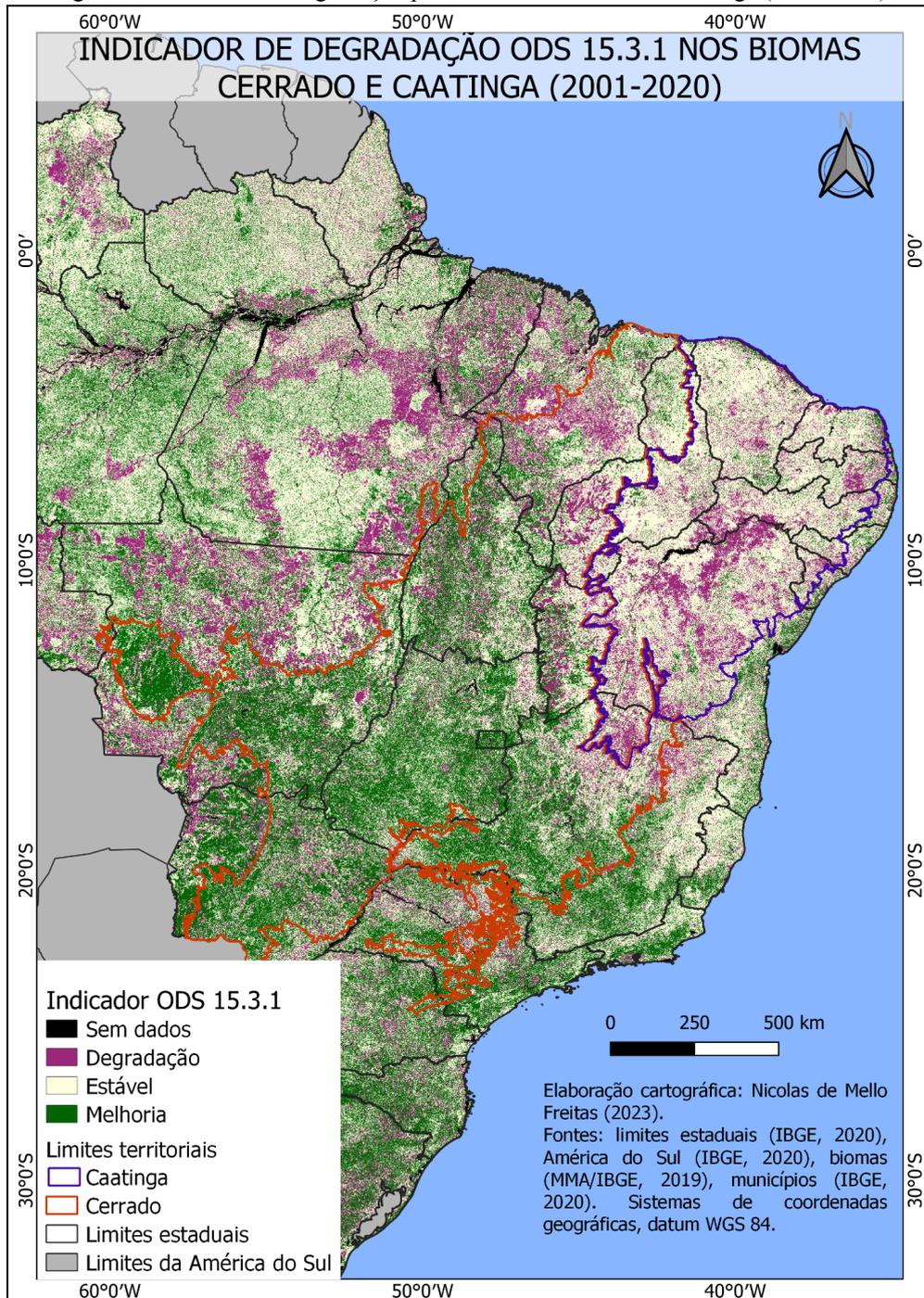
Por fim, foram elaborados mapas para o período de 2001 a 2020, compreendendo um período maior de análise, sendo o mapa do indicador para o território brasileiro a Figura 6, e o mapa do indicador para os biomas Cerrado e Caatinga a figura 10.

No bioma Caatinga, Segundo a Figura 10, a região com focos de degradação foram: Centro e Norte do Ceará; Norte do Rio Grande do Norte; Sudeste de Paraíba; Sul e Sudoeste de Pernambuco; Norte, Centro, Nordeste, e Centro Sul da Bahia; Norte de Minas Gerais; Norte de Sergipe. Quanto à melhoria da degradação, as regiões com focos de melhoria são: o Sul e Norte de Maranhão; Nordeste do Rio Grande do Norte; Norte de Alagoas. Segundo os dados da Tabela 4, a região Nordeste possui um percentual de degradação da terra de 23,84%, enquanto que o percentual de melhoria é de 14,90%.

No bioma Cerrado, as regiões com foco de degradação da terra, segundo a Figura 10, foram: Centro e Leste de Maranhão; Sudoeste do Piauí; Oeste da Bahia; Sudoeste, Centro, Norte e Nordeste de Tocantins; Centro de Goiás; Leste do Mato Grosso; Norte e Centro Leste do Mato Grosso do Sul; Em relação à melhoria da degradação, as regiões com melhoria foram: Toda a região de Goiás e do Distrito Federal; Todas as regiões de Tocantins; Sul do Maranhão; Centro, Oeste e Noroeste de Minas Gerais; Oeste, Centro e Sul do Mato Grosso; toda a região do Mato Grosso do Sul onde o bioma Cerrado se

estende. Segundo a Tabela 4, a região Centro-Oeste apresenta um percentual de degradação da terra de 18,56% e um percentual de melhoria de 45,12%.

Figura 10: Indicador de degradação para os biomas Cerrado e Caatinga (2001-2020)



Fonte: Elaboração própria (2023).

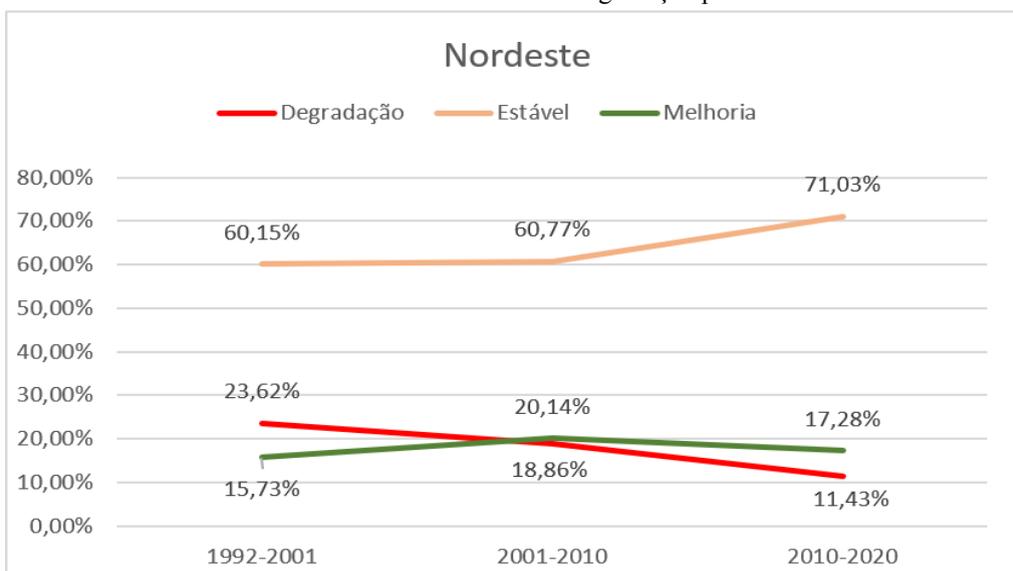
Especificamente no período de 2001 a 2020 foi calculada também a área da classe

degradação nos biomas Cerrado e Caatinga, a fim de compartilhar os resultados com pesquisadores do Projeto Nexus (Fapesp, 2017/22269-2), liderado pelo INPE. Estes dados foram compartilhados no Mendeley Data e podem ser acessados por meio deste link: <https://data.mendeley.com/datasets/nmsf2b9tr7/1>.

Foi utilizada a ferramenta estatísticas zonais e a calculadora de campos do QGIS para extrair a área degradada nos biomas Cerrado e Caatinga. A área degradada da Caatinga calculada foi de 210.550,76 km², o que corresponde aproximadamente a 25% da área total do bioma. Por outro lado, a área degradada no Cerrado foi de 334.369,700 km², o que corresponde aproximadamente a 16,41% da área total do bioma. Os dados raster das regiões utilizados para calcular as estatísticas zonais foram reprojetoados para a projeção de Albers com base nos parâmetros do IBGE¹.

Para analisar se houve melhoria na degradação entre os períodos de 1992 a 2020, foram selecionados os dados percentuais das tabelas de cada período e foram gerados gráficos de linhas com enfoque no Nordeste e Centro Oeste (Gráficos 01 e 02).

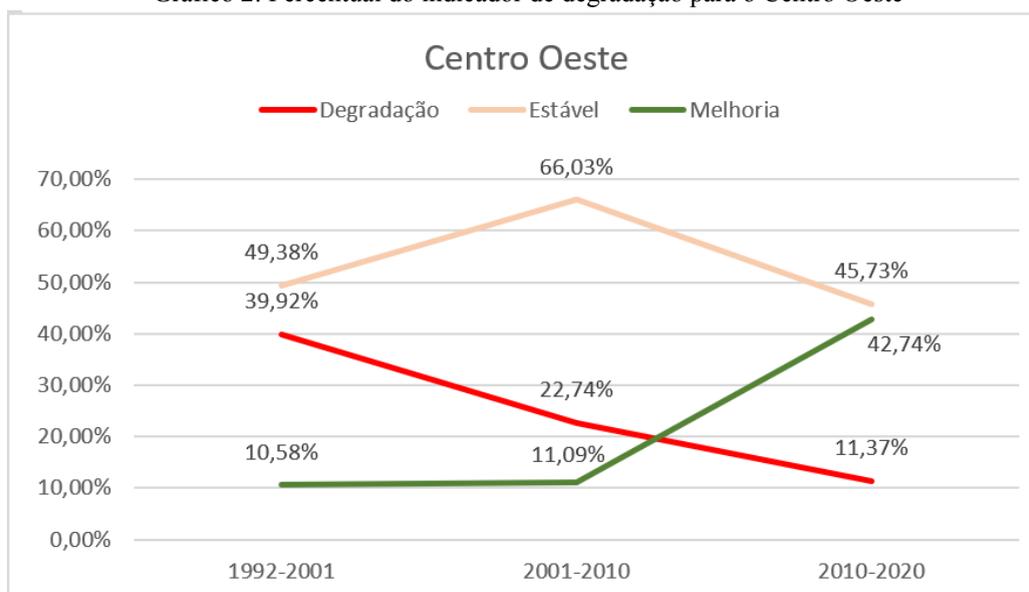
Gráfico 1: Percentual do indicador de degradação para o Nordeste



Fonte: Elaboração própria (2023).

¹ <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101998.pdf>

Gráfico 2: Percentual do indicador de degradação para o Centro Oeste



Fonte: Elaboração própria (2023).

O Gráfico 1 mostra que no Nordeste houve melhoria e a degradação diminuiu ao longo dos três períodos, além de um aumento das áreas estáveis. No caso do Centro Oeste, houve uma consistente diminuição da degradação e há tendência de melhoria, já as áreas estáveis tiveram um pico no segundo período e depois reduziram. Portanto, para a região Centro Oeste, que abriga boa parte do Cerrado, e para a região Nordeste onde se encontra a Caatinga, verificou-se ao longo do tempo que as áreas degradadas tiveram regressão, o que é um sinal positivo rumo ao atingimento da meta 15.3 do ODS 15 que visa reverter o solo degradado. No caso do Centro Oeste também houve um aumento expressivo da classe melhoria, o que pode indicar ações de recuperação de pastagens degradadas, principalmente em grandes propriedades, como destacam Santos et al. (2022).

Observando o período de 2001 a 2020, segundo a tabela 4, os dados percentuais apenas reafirmam as melhorias na região Centro Oeste. E no caso do Nordeste, apesar dos resultados das áreas estáveis e com melhoria, ele continua sendo a região brasileira com maior porcentagem de degradação, o que está de acordo com os resultados previstos por Bezerra et. al.(2020) e Vieira et. al. (2015).

Os resultados do período de 2001 a 2020 (Figura 10) para a Caatinga, se comparado com os resultados de Bezerra et. al. (2020), apresentou muitas regiões com resultados similares, as regiões com resultados aparentados foram: Norte e Centro da Bahia;

Centro e Oeste de Pernambuco; Centro da Paraíba; Norte do Rio Grande do Norte; Leste, Nordeste e Oeste de Ceará; Leste de Piauí.

Por outro lado, os resultados do período de 2001 a 2020 (Figura 10) para a caatinga, se comparado com os resultados de 2000 a 2010 de Vieira et. al. (2015), apresentou muitas regiões com resultados diferentes, bem como regiões com resultados similares. As regiões com resultados similares foram: Norte e Sudeste do Rio Grande do Norte; Leste do Piauí; Norte e Centro de Paraíba; Norte Sergipe; Sul Alagoas; Norte e Centro-Sul da Bahia. Porém, apesar de haver similaridades, no geral as áreas com degradação, se comparadas, são discrepantes, provavelmente pelas diferenças metodologias utilizadas para avaliar a degradação, enquanto que neste presente estudo busca-se obter principalmente as áreas degradadas comparando dois períodos, o estudo do Vieira et al. (2015) analisou indicadores para gerar mapas de suscetibilidade à desertificação.

Por sua vez, os resultados para o Cerrado no período de 2001 a 2020 (Figura 10) mostram melhoria da degradação em todos os estados ocupados pelo Cerrado, esses resultados estão de acordo com os apresentados por Santos et. al. (2022), estes indicam que no geral houve uma melhoria geral na qualidade das pastagens no Brasil entre 2010 e 2018, com uma redução na área de pastagens degradadas e um aumento na área de pastagens de melhor qualidade (Santos et. al., 2022).

Acredita-se que os resultados do indicador de degradação para o período de 1992 a 2001 estão superestimados, pelo dado de produtividade da terra disponível para o período ter sido baseado em imagens de um satélite de resolução espacial mais baixa, contudo, é um dado importante para compreender o histórico da degradação.

4 CONCLUSÕES

A análise da degradação da terra utilizando o plugin Trends.Earth facilitou o processamento de dados para todo o Brasil e para diferentes anos, pois parte do processamento é feito em nuvem utilizando a plataforma do Google Earth Engine. A inclusão de dados do projeto Mapbiomas contribuiu para refinar o dado, melhorando o resultado final do pixel e consequentemente permitindo um maior detalhamento das áreas degradadas e de melhoria.

Foi possível gerar os dados para todas as regiões do Brasil e foi feita uma análise mais detalhada para os biomas Cerrado e Caatinga, para atender ao objetivo geral da pesquisa.

Os resultados para o Brasil mostram que entre 1992 a 2020 houve um aumento nas áreas com melhoria, uma diminuição na degradação da terra e flutuações nas áreas estáveis. Durante o período compreendido entre 2001 e 2020 verificou-se que o Brasil possui metade de sua área estável, seguida por mais áreas com melhoria (32%) e degradada (17%).

Os resultados para os biomas Cerrado e Caatinga nos períodos de 1992 a 2001, 2001 a 2010 e 2010 a 2020 mostram melhorias no Nordeste, com uma redução da degradação ao longo dos três períodos e um aumento das áreas estáveis. Por outro lado, no Centro-Oeste, houve uma consistente diminuição da degradação e uma tendência de melhoria ao longo do tempo. Portanto, para a região Centro-Oeste, que abriga boa parte do Cerrado, e para a região Nordeste, onde se encontra a Caatinga, verificou-se ao longo do tempo que as áreas degradadas tiveram regressão.

Os resultados para o período de 2001 a 2020 mostram que para o bioma Caatinga a porcentagem de área degradada foi maior do que a porcentagem de áreas com melhoria, o que é o oposto do Cerrado que teve uma porcentagem de área com melhoria maior do que a porcentagem de área degradada.

Portanto, os resultados mostram que ainda há uma grande porcentagem de área degradada nos biomas analisados, mas os resultados também indicam uma possível tendência de redução da área degradada nos biomas e no território brasileiro. Esses resultados indicam um progresso positivo em direção a meta 15.3.1 do ODS 15, que visa reverter a degradação da terra.

Essas informações são fundamentais para direcionar estratégias de conservação e recuperação do solo, visando a sustentabilidade ambiental e o cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, F. M.; FERREIRA, L. G.; ARANTES, A. E. Distribution patterns of burned areas in the Brazilian Biomes: an analysis based on satellite data for the 2002–2010. *Remote Sensing*. v. 4, n. 7, 1929-1946, 2012. <https://doi.org/10.3390/rs4071929>.

ALMEIDA, C. A., VALERIANO, D. M., MAURANO, L., VINHAS, L., FONSECA, L. M. G., SILVA, D., SANTOS, C. P. F., MARTINS, F. S. R. V., LARA, F. C. B., MAIA, J. S., PROFETA, E. R., SANTOS, L. O., SANTOS, F. C. O., RIBEIRO, V.: DEFORESTATION MONITORING IN DIFFERENT BRAZILIAN BIOMES: CHALLENGES AND LESSONS, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-3/W2-2020, 47–52, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-3-W2-2020-47-2020>, 2020.

BAKR, N., WEINDORF, D.C., BAHNASSY, M.H., EL-BADAWI, M.M., 2012. Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators. *Ecol. Indic.* 15, 271–280. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.034>.

BEZERRA, F. G. S.; AGUIAR, A. P. D.; ALVALÁ, R. C. S.; GIAROLLA, A.; BEZERRA, K. R. A.; LIMA, P. V. P. S.; NASCIMENTO, F. R.; ARAI, E. Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator. *Ecological Indicators*, Coimbra, v. 117, 2020.

COUTINHO, L.M. O conceito de bioma. *Acta Botanica Brasilica*, v. 20, n. 1, p. 18 – 21, 2006.

CPTEC/INPE. El Niño e La Niña. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: abril. 2023.

FREIRE, J. L. M.; LIMA, J. R. A.; CAVALCANTI, E. P. Análise de Aspectos Meteorológicos Sobre o Nordeste do Brasil em Anos de El Niño e La Niña (Analysis of Meteorological Aspects on the Northeast of Brazil in El Niño and La Niña Years). *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.l.], v. 4, n. 3, p. 429-444, set. 2011. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232719/26725>>. Acesso em: 03 maio 2023. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i3.232719>.

IBGE. Brasil em síntese. 2023. Disponível em: <<https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>>. Acesso em: fev. 2023.

INPE. CONDIÇÕES ATUAIS DO ENOS: ENFRAQUECIMENTO DO LA NIÑA E INÍCIO DE CONDIÇÕES DE NEUTRALIDADE. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/#>. Acesso em: 25 abr. 2023.

IPBES - INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES. The IPBES assessment report on land degradation and restoration. MONTANARELLA, L., SCHOLLES, R., AND BRAINICH, A. (Eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 2018. 744 p.

IPEA. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 15 Vida Terrestre. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/ods15.html>> Acesso em: 20 março 2023.

ISPEN - Instituto Sociedade, População e Natureza. Cerrado. Disponível em: <<https://ispen.org.br/biomas/cerrado/>>. Acesso em: 20 março. 2023.

LIMA, J.E.F.W ; SILVA, E. M. da ; OLIVEIRA-FILHO, E. C. ; MARTINS, E. S. ; REATTO, A. ; BUFON, V. B. The relevance of the Cerrado's water resources to the Brazilian development. In: XIVth IWRA World Water Congress, 2011, Porto de Galinhas, PE. XIVth IWRA World Water Congress. Montpellier, FR: International Water Resources Association - IWRA, 2011.

MMA. Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2007. 540 p. Disponível em <www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/Cerrado_pantanal.pdf>. Acesso em 18 mar. 2023.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Subsídios para a Elaboração do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Caatinga. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2011. 120 p. Disponível em <[Plano de Ação para Caatinga - PPCaatinga \(mma.gov.br\)](http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/Plano_de_Acao_para_Caatinga_PPCAatinga_mma.gov.br)>. Acesso em mar. 2023.

NASCIMENTO, F. R., 2015. Os semiáridos e a desertificação no Brasil. Rev. Eletrônica do PRODEMA 9, 7–26.

NEXUS CCST. Projeto Transição para sustentabilidade e o nexo água-agricultura-energia: explorando uma abordagem integradora com casos de estudo nos biomas Cerrado e Caatinga. Disponível em: http://nexus.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2019/10/CCST_FAPESP_Projeto_2017_final.pdf. Acesso em: 11 set. 2019.

PROJETO MAPBIOMAS - Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil, acessado em 18 de Janeiro de 2023 através do link: https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR

SANTOS, C. O.; MESQUITA, V. V.; PARENTE, L. L.; PINTO, A. S.; FERREIRA JUNIOR, L. G. Assessing the Wall-to-Wall Spatial and Qualitative Dynamics of the Brazilian Pasturelands 2010–2018, Based on the Analysis of the Landsat Data Archive. Remote Sens. 2022, 14, 1024. <https://doi.org/10.3390/rs14041024>.

SIMS, N.C., NEWNHAM, G.J., ENGLAND, J.R., GUERSCHMAN, J., COX, S.J.D., ROXBURGH, S.H., VISCARRA ROSSEL, R.A., FRITZ, S. AND WHEELER, I. 2021.

Good Practice Guidance. SDG Indicator 15.3.1, Proportion of Land That Is Degraded Over Total Land Area. Version 2.0. United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, Germany.

TABARELLI, Marcelo et al . Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. Cienc. Cult., São Paulo , v. 70, n. 4, p. 25-29, Oct. 2018 . Available from . access on 19 Mar. 2023.

TRENDS.EARTH. Land degradation. 2.1.8 documentation. Disponível em: <http://docs.trends.earth/en/latest/for_users/training/landdegradation.html>. Acesso em: 08 abril 2023.

UNITED NATIONS - UN, 1992. Agenda 21. Available in: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>.

UNITED NATIONS - UN, 2017. The Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. Ordos.

UNCCD - United Nations Convention to Combat Desertification. 1994. Article 1 of the Convention Text. Available in: http://www2.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/2017-01/UNCCD_Convention_ENG_0.pdf.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP Latin America and the Caribbean: Environmental outlook 2010 UNEP, Panama. Available UNEP In: http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8663/-Global_environment_outlook_Latin_America_and_the_Caribbean_GEO_LAC_3-2010Latinin_America_and_the_Caribbean_-_Environment_Outlook_3.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

VIEIRA, R. M. S. P., TOMASELLA, J., ALVALÁ, R. C. S., SESTINI, M. F., AFFONSO, A. G., RODRIGUEZ, D. A., BARBOSA, A. A., CUNHA, A. P. M. A., VALLES, G. F., CREPANI, E., DE OLIVEIRA, S. B. P., DE SOUZA, M. S. B., CALIL, P. M., DE CARVALHO, M. A., VALERIANO, D. M., CAMPELLO, F. C. B., SANTANA, M. O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast, Solid Earth, 6, 347–360, <https://doi.org/10.5194/se-6-347-2015>, 2015.