# ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MAPEAMENTOS DE DEGRADAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

# COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN LAND DEGRADATION MAPPINGS IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID

Discente: Jocilene Dantas Barros<sup>1</sup> Professores responsáveis: Dr. Antônio Miguel V. Monteiro e Dr. Eduardo G. Camargo

RESUMO: A degradação da terra é um processo que resulta na perda de produtividade biológica e econômica das terras, trazendo impactos significativos para ecossistemas e populações humanas. Existem diferentes estudos que mapeiam a degradação, porém há lacunas na identificação de convergências e divergências entre esses mapeamentos. O estudo teve como objetivo realizar uma comparação entre mapeamentos de degradação para uma região no Semiárido brasileiro por meio de métricas de diferença e análise espacial. A metodologia envolveu a aplicação de métricas de diferença globais e por categoria, e análise exploratória de dados com a função G e mapa de densidade Kernel, utilizando os softwares RStudio e o QGIS. Os resultados mostraram que a Troca é a principal fonte de diferença na comparação de Freitas et al. (2023) com Bezerra et al. (2020) e a Quantidade de diferença predominou na comparação entre Freitas et al. (2023) e Tomasella et al. (2018) e Freitas et al. (2023) e CGEE (2016). Além disso, a Diferença geral diminuiu com a redução da resolução espacial. Para reduzir os erros de comissão, recomenda-se a utilização do estudo de Bezerra et al. (2020) e para reduzir os erros de omissão, o estudo de Tomasella et al. (2018) é mais adequado. A região norte da Bahia é a área que possui maiores Acertos considerando todos os estudos. Espera-se que esta análise comparativa tenha contribuído como um diagnóstico das principais diferencas entre mapeamentos de degradação no Semiárido Brasileiro e também na indicação das regiões mais degradadas de acordo com todos os estudos.

Palavras-chave: degradação da terra; comparação de dados espaciais; análise espacial.

**ABSTRACT:** Land degradation is a process that results in the loss of biological and economic land productivity, bringing significant impacts to ecosystems and human populations. Different studies map land degradation, however, gaps remain in identifying convergences and divergences between these mappings. This study aimed to compare land degradation mappings for a region in the Brazilian Semi-Arid through

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Trabalho final em formato de artigo apresentado à disciplina de Análise espacial de dados geográficos (SER 301) do INPE, em dezembro de 2024.

metrics of difference and spatial analysis. The methodology involved applying global and category difference metrics, as well as exploratory data analysis using the G function and Kernel density maps, with the RStudio and QGIS software. Results showed that Exchange was the main source of difference in the comparison between Freitas et al. (2023) and Bezerra et al. (2020), while Quantity difference predominated in the comparisons between Freitas et al. (2023) and Tomasella et al. (2018), and Freitas et al. (2023) and CGEE (2016). Furthermore, the Overall difference decreased with the reduction in spatial resolution. To reduce commission errors, the study by Bezerra et al. (2020) is recommended, while to minimize omission errors, Tomasella et al. (2018) is more suitable. The northern region of Bahia has the highest number of Hits across all studies. This comparative analysis is expected to contribute to a diagnosis of the main differences between land degradation mappings in the Brazilian Semi-Arid and indicate the most degraded regions according to all studies.

Keywords: land degradation; spatial data comparison; spatial analysis.

# INTRODUÇÃO

A degradação da terra é um processo complexo que culmina na perda ou redução da produtividade biológica e econômica das terras (SIMS et al., 2021), trazendo consequências para os ecossistemas e para a vida humana. Estudos alertam sobre o problema da desertificação no Brasil, que é uma consequência mais grave da degradação da terra, sobretudo no Semiárido Brasileiro, mais suscetível a esse fenômeno (VIEIRA et al., 2015; TOMASELLA et al., 2018).

A neutralidade da degradação é uma meta global do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 15 das Nações Unidas, 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), sendo, portanto, um problema a ser solucionado por diversos países do mundo.

Atualmente, existem variados mapeamentos relacionados à degradação e desertificação no Brasil, especialmente na região Semiárida, com a aplicação de diferentes metodologias, como, por exemplo, o mapeamento de níveis de degradação por índice de vegetação de Bezerra et al., 2020), mapeamento de áreas fortemente degradadas por interpretação visual do CGEE (2016), mapeamento da degradação por meio de indicadores de produtividade, carbono orgânico do solo e cobertura da terra de Freitas et al. (2023) e os indicadores de vulnerabilidade à desertificação (VIEIRA et al., 2015).

Apesar desses estudos, existe uma lacuna na identificação das convergências e divergências entre mapeamentos de degradação no Brasil, em especial considerando

métricas de diferença globais e por categoria (PONTIUS, 2022; PONTIUS; SANTACRUZ, 2023), combinadas com a análise espacial, pois análises estritamente visuais podem levar a conclusões menos precisas. O estudo de Fonseca e Pontius Jr (2023) é um exemplo de comparação entre mapeamentos de desmatamento utilizando métricas de diferença para a Amazônia brasileira.

Essa análise comparativa também pode contribuir para indicar onde os esforços de combate e neutralização da degradação devem ser mais direcionados, considerando as áreas críticas em comum nos estudos.

Considerando o exposto, o objetivo do trabalho é realizar uma comparação entre mapeamentos de degradação para uma região no semiárido brasileiro por meio de métricas de diferença e análise espacial, de forma a verificar quais são as regiões comuns a diferentes estudos como sendo degradadas e aquelas regiões com maiores divergências entre os estudos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A análise comparativa de mapas de degradação da terra seguiu as etapas metodológicas apresentadas na Figura 1, que se dividem em: coleta de dados sobre mapeamentos com base em artigos científicos e relatórios técnicos; harmonização dos dados e visualização dos mapas no QGIS 3.34; cálculo das métricas de diferença globais e por categoria, bem como geração de rasters, Função G e densidade de Kernel a partir das métricas por categorias utilizando o RStudio 2024.09.1; por fim, geração de mapas no QGIS a partir dos rasters das métricas. Os códigos em R foram ajustados com o auxílio do ChatGPT (OPENAI, 2024).



Figura 1: fluxograma com as etapas metodológicas do estudo.

Fonte: elaboração própria (2024).

### Coleta e harmonização dos dados

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica para coleta de dados e métodos dos mapeamentos de degradação da terra para a região de interesse, o Semiárido brasileiro, selecionando estudos a nível nacional em artigos científicos e relatórios técnicos do governo brasileiro. Em seguida foi criado o quadro comparativo com detalhes sobre os mapeamentos, que norteou a etapa posterior de comparação por métricas.

O processo foi executado respeitando a harmonização dos dados, que é a prática de combinar ou transformar diferentes dados para maximizar sua comparabilidade ou compatibilidade, incluindo também a semelhança conceitual (CHENG et al., 2024). Foi observado principalmente se as metodologias e conceitos eram próximos e passíveis de comparação, além da verificação se os trabalhos possuíam uma área de estudo comum. Com base nesse último aspecto, foi definida como área de estudo a região Semiárida apenas do Nordeste brasileiro (Figura 2), por abranger as áreas de estudo de todos os trabalhos consultados.



Figura 2: área de estudo da pesquisa.

Fonte: elaboração própria (2024).

Após a exclusão de estudos que não eram passíveis de comparação, foi feita e harmonização dos dados dos estudos quatro selecionados, que consistiu na reprojeção de todos os dados para um único Sistema de Referência de Coordenadas (SRC), em Coordenadas Planas, Projeção policônica, datum SIRGAS 2000; reclassificação dos dados com várias classes para uma única classe; conversão de vetor para raster quando necessário; reamostragem dos pixels para 250 m; e recorte dos rasters com base no limite da área de estudo.

No caso do estudo de Bezerra et al. (2020), foram unidas as classes moderada, alta e muito alta trajetória de degradação, e com relação ao estudo de Tomasella et al. (2018), foram unidas as classes do índice de degradação moderado, alto e muito alto. Nos outros dois estudos não foi necessário reclassificar.

Por fim, a escolha do pixel foi feita considerando a menor resolução entre os estudos, 250 metros. No caso do CGEE (2016) foi indicada no documento apenas a escala, 1:250.000, por isso aplicou-se a fórmula apresentada em Sadeck (2009) para cálculo do numerador da escala baseado na acuidade visual (N = E / e), chegando ao valor de 50 m (250.000 / 0,0002 m). Como este valor é menor que 250 m de pixel, foi considerado como valor do pixel final 250 metros.

A preparação dos dados foi necessária para a etapa posterior de cálculo das métricas de diferença, que exige que os dados sejam padronizados em extensão, SRC e tamanho de pixel e estejam no formato raster.

## Métricas de diferença globais e por categoria

As métricas de diferença globais e por categoria foram aplicadas nos rasters selecionados utilizando o pacote *diffeR* do RStudio (PONTIUS; SANTACRUZ, 2023), especificamente as funções *differenceMR, crosstabm e composite*. Essas métricas são aplicadas em pares de mapas, comparando a referência com uma comparação.

As métricas de diferença globais, obtidas pela função *differenceMR*, são definidas por Pontius e Santacruz (2014 e 2023) da seguinte forma:

- Quantidade de diferença (*Quantity*): é a quantidade de diferença entre o mapa de referência e um mapa de comparação, devido à mudança na quantidade das categorias entre os mapas. Representa mudanças nas quantidades absolutas de cada classe, sem considerar a localização;
- Troca de diferença (*Exchange*): é a diferença devido à troca de categorias entre células, a diferença na forma como as presenças e ausências de referência e comparação estão alocadas. Reflete as áreas onde categorias trocaram entre si diretamente;
- Mudança/Deslocamento (*Shift*): diferença residual após subtrair a diferença de quantidade e troca da diferença geral, devido ao deslocamento espacial das categorias;

- Diferença Geral (*Overall*): é a soma total das diferenças (quantidade, troca e mudança).

Um dos parâmetros da função que precisa ser indicado é o *fact*, que determina o número de células agrupadas horizontalmente e verticalmente. Foi considerado o valor 2, pois um teste com fact = 1 retornou um erro de dado inválido. Um fact = 2 significa que cada bloco de 2x2 pixels é resumido em um único valor.

É importante ressaltar que a função *differenceMR* apresenta os valores das métricas em múltiplas resoluções, permitindo analisar como as diferenças variam com a agregação de pixels. De acordo com a documentação da função *differenceMR*, a agregação é feita pela função *aggregate* do pacote *terra* do R, tendo como forma de agregação padrão a média.

Com as funções *crosstabm e composite* é possível obter métricas de diferença por categoria, a primeira função apresenta os resultados da comparação entre o raster de referência e de comparação em número de pixels e a segunda em porcentagem para cada classe (no caso do presente estudo, 0 para não degradado e 1 para degradado). De forma semelhante ao *differenceMR*, também foi indicado o fact = 2 como argumento da função *composite*, já a função *crosstabm* não inclui esse parâmetro. As seguintes métricas foram avaliadas (PONTIUS, 2022; PONTIUS; SANTACRUZ, 2023):

- Rejeições corretas (*Correct Rejections*): correspondem aos pixels que foram corretamente identificados como pertencendo à categoria 0 em ambos os mapas;
- Falhas (*Misses*): envolvem pixels que foram classificados como categoria 0 no mapa de referência, mas são categoria 1 no mapa de comparação;
- Alarmes falsos ou falso positivo (*False Alarms*): se refere aos pixels que foram classificados como categoria 1 no mapa de referência, mas são categoria 0 no mapa de comparação;
- Acertos (*Hits*): correspondem aos pixels que foram corretamente identificados como pertencendo à categoria 1 em ambos os mapas.

Os rasters de referência e de comparação foram reclassificados e combinados no RStudio, de forma a visualizar onde na área de estudo ocorrem as quatro métricas acima para cada comparação. Foi criada uma máscara entre os rasters resultantes para verificar as áreas em que todas as comparações indicaram áreas degradadas (Acertos) e áreas não degradadas (Rejeições corretas). Por fim, foi calculada a área de cada métrica e sua proporção em relação à área de estudo.

### Análise espacial de padrões de pontos

A análise espacial foi aplicada a partir de duas técnicas de análise de padrões de pontos: a Função G ou função de distribuição de distância do vizinho mais próximo G e a Estimativa de Densidade de Kernel. Elas permitem realizar a comparação entre mapas considerando também o arranjo espacial, ou seja, a localização dos pontos e a relação entre eles.

A função G foi aplicada utilizando a função *Gest* do pacote *spatstat.explore* do R, representada em forma de gráfico, e considerou-se a correção de borda pelo estimador de Kaplan-Meier (BADDELEY; TURNER, 2024). A função G é uma técnica de análise exploratória que estima uma função de distribuição cumulativa de distância do vizinho mais próximo de um padrão de pontos e pode ser empregada para verificar se existe ou não evidências de agrupamento (BADDELEY; TURNER, 2024; CAMARGO; FELGUEIRAS, 2024). O valor do raio de suavização da função kernel pode ser obtido considerando o ponto no eixo de X em que começa a acumulação do estimador.

A Estimativa de Densidade de Kernel estima a densidade de eventos pontuais em uma área a partir de uma função de suavização chamada de função kernel, que pondera os eventos com base na distância de cada evento ao ponto de referência. A largura de banda controla o grau de suavização, determinando como a influência dos eventos diminui com a distância (GATRELL et al., 1995; CAMARGO; FELGUEIRAS, 2024). No presente estudo foi utilizada a função kernel Quártica, o pixel foi de 10 km e o sigma (raio de suavização) foi selecionado com base na análise do gráfico da função G. Foi utilizada a função *density* do pacto *stats*.

Para aplicação das duas técnicas, os pixels das classes Falhas e Alarmes Falsos, que correspondem aos erros na comparação entre mapas, foram convertidos para pontos. Para cada comparação e métrica foi gerado um gráfico e um mapa. Com os mapas de densidade de Kernel foi possível avaliar quais regiões da área de estudo possuem maior densidade de Falhas e maior densidade de Alarmes Falsos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

## Seleção dos estudos para comparação

Inicialmente foram selecionados sete estudos para comparação: Freitas et al. (2023), Bezerra et al. (2020), Tomasella et al. (2018), CGEE (2016), dados do MMA disponibilizados por Tomasella et al. (2018), Mapbiomas (2020) e Vieira et al. (2015). Os estudos foram comparados em termos de nome do mapeamento, conceito de

degradação/desertificação utilizado, metodologia, área de estudo, escala/pixel de análise e período de análise, conforme Quadro 1.

Estudo	Nome	Conceito	Metodologia	Área de estudo	Escala ou pixel	Período de análise
Freitas et al. (2023)	Indicador de degradação	Perda da produtividade biológica e econômica da terra observada por meio de três subindicadores	NDVI, SOC, Mudança de uso e cobertura, com transição de um período para o outro	Brasil	30 m / 250 m	2001-2020
Bezerra et al. (2020)	Áreas com cobertura ve capacidade da vegetaçã potencialmente ezerra et al. (20)		EVI, trajetórias de degradação (moderada, alta, muito alta)	Região semiárida no nordeste (limite anterior)	30 m	2000-2016
Tomasella et al. (2018)	Monitoramento de áreas de solo descoberto persistente e frequente, degradação degradação da terra degradação		NDVI (moderada, alta e muito alta degradação)	Nordeste do Brasil, norte de MG e norte do ES	250 m	2007–2016
CGEE (2016)	Áreas fortemente degradadas	Solos degradados, com evidentes restrições ao uso; cobertura vegetal fortemente degradada pelos desmatamentos contínuos, e atividades antrópicas resultantes da pecuária extensiva, do extrativismo (vegetal e mineral) e da agricultura itinerante.	Interpretação visual e workshop de validação com especialistas de cada estado	Região semiárida (limite anterior) e norte do ES	1:250.000	2013-2014
MMA, disponibilizado por Tomasella et al. (2018)	Núcleos de desertificação	Áreas prioritárias do Ministério do Meio Ambiente do Brasil para combater a desertificação	Interpretação visual, consulta a especialistas, trabalho de campo (?)	Nordeste do Brasil, norte de MG e norte do ES	_	-
Mapbiomas (2020)	Vigor da pastagem	Indicador de tendência de vigor vegetativo, a condição do vigor está relacionada com atividades de manejo, planta forrageira utilizada e estágio de degradação da área (esta última mais relacionada com degradação biológica - solo exposto)	Índice de vegetação	Brasil	30 m	Anual (selecionado o ano de 2020)
Vieira et al. (2015)	Áreas suscetíveis à desertificação	Vulnerabilidade à desertificação, áreas potencialmente influenciam no processo de desertificação	Vulnerabilidade baseada em 11 indicadores socioambientais	Região Nordeste	1:500.000	2000-2010

# Quadro 1: elementos de comparação dos mapeamentos de degradação/desertificação selecionados.

Fonte: elaboração própria (2024).

A partir da análise do Quadro 1 e dos dados espacializados no QGIS, foram selecionados quatro mapeamentos para comparação por métricas de diferença e

análise espacial: Freitas et al. (2023), Bezerra et al. (2020), Tomasella et al. (2018) e CGEE (2016), apresentados na Figura 3. Embora não se tenha encontrado uma definição e metodologia comum aos sete estudos, em todos os casos acima foram mapeadas áreas degradadas, considerando regiões com perda da produtividade, ausência de vegetação ou solos persistentemente descobertos.



Figura 3: estudos previamente selecionados para análise.



Fonte: elaboração própria (2024).

Os demais estudos não foram considerados pelos seguintes motivos: Vieira et al. (2015) por aplicarem uma metodologia que se baseia na vulnerabilidade à desertificação por meio de indicadores socioambientais, um conceito distinto dos demais estudos; Mapbiomas (2020), por considerar apenas a degradação das pastagens, desconsiderando a perda da produtividade em áreas de vegetação; e dados do MMA disponibilizados por Tomasella et al. (2018), pela dificuldade em encontrar informações sobre o processo de mapeamento (em processo de revisão pelo governo brasileiro) e uso do termo núcleo de desertificação, que pode ter uma interpretação

diferente de área degradada. Os mapas dos sete estudos estão representados na Figura 3.

### Análise das métricas de diferença globais

Para análise das métricas de diferença globais e por categoria, foi necessário escolher um estudo de referência para comparação com os demais. O estudo de Freitas et al. (2023) foi considerado como a referência por envolver uma metodologia baseada no guia de boas práticas da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (SIMS et al., 2021), utilizado em diferentes países do mundo, e os estudos de Bezerra et al. (2020), Tomasella et al. (2018) e CGEE (2016) como comparação, sendo comparados individualmente com a referência, seguindo a regra do pacote *diffeR* de comparação de dados em pares.

As métricas de diferença globais permitem avaliar qual métrica apresenta maior discrepância entre a referência e a comparação e como as diferenças variam entre os mapas com a agregação espacial (redução na resolução espacial ou aumento do valor de *Resolution* na Tabela 1).

A Tabela 1 mostra a comparação entre Freitas et al. (2023) e Bezerra et al. (2020). Com relação à Quantidade de diferença (*Quantity*), houve pouca variação entre as resoluções, a Quantidade de diferença domina em resoluções mais baixas e o valor baixo indica que a quantidade total em cada classe é similar. A troca (*Exchange*), que corresponde a uma mudança espacial das classes, diminui com a redução da resolução (ou aumento no valor *Resolution*), e é a principal fonte de diferença em diferentes resoluções, sobretudo nas resoluções maiores. A Mudança (*Shift*) é próxima de zero, indicando que a diferença está na Quantidade de diferença e Troca e que os mapas estão bem alinhados. A Diferença geral (Overall), soma da Quantidade, Troca e Mudança, diminui com o aumento do pixel, como esperado, pois agregações tendem a suavizar as diferenças.

Sola	1. moulouo	ao anoronya :	giosalo pare		an. (2020) 0 2020	
	Multiples	Resolution	Quantity	Exchange	Shift	Overall
1	1	250	3.809631	11.928964	-6.217249e-15	15.738595
2	2	500	3.810265	11.486840	6.217249e-15	15.297105
3	4	1000	3.811460	10.837744	-2.664535e-15	14.649204
4	8	2000	3.813939	10.162230	-2.664535e-15	13.976169
5	16	4000	3.813939	9.511981	0.000000e+00	13.325920
6	32	8000	3.835539	8.917454	-2.664535e-15	12.752994
7	64	16000	3.878547	8.287431	1.776357e-15	12.165979
8	128	32000	3.878547	7.505519	2.664535e-15	11.384066
9	256	64000	3.948182	6.830332	-6.217249e-15	10.778513

### Tabela 1: métricas de diferença globais para Freitas et al. (2023) e Bezerra et al. (2020).

		Fonte	e: elaboraçã	ăo própria (2	024).	
1	4 6071	1517750	3.809631	0.00000	0.000000e+00	3.809631
1	3 4096	1024000	3.088373	0.00000	0.000000e+00	3.088373
1	2 2048	512000	3.088373	3.104126	0.000000e+00	6.192499
1	1 1024	256000	3.856201	4.958878	0.000000e+00	8.815079
1	0 512	128000	3.995989	5.760637	0.000000e+00	9.756626

As tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente, a comparação entre Freitas et al. (2023) e Tomasella et al. (2018) e entre Freitas et al. (2023) e CGEE (2016). Em ambos os casos o comportamento é similar: a Quantidade de diferença é a maior responsável pelas diferenças considerando as métricas, tem maior variação entre as resoluções e domina em todas as resoluções; a Troca diminui com a redução da resolução e é menor que a Quantidade; a Mudança possui valores negativos ou próximo de zero; e a Diferença geral diminui com o aumento do pixel.

Tabel	a 2: métrica	as de di	ferença g	lobais para l	Freitas et al.	(2023) e Tomase	ella et al. (2018).			
	Multiples	Resolu	ution	Quantity	Exchange	Shift	Overall			
-	1	1	250	9.381019	4.1954072	-8.881784e-16	13.576426			
4	2	2	500	9.382565	3.8540939	-1.776357e-15	13.236658			
	3	4	1000	9.385596	3.3858147	1.776357e-15	12.771411			
2	1	8	2000	9.391673	2.9343032	5.329071e-15	12.325976			
1	5	16	4000	9.391673	2.5546710	4.884981e-15	11.946344			
(	6	32	8000	9.445306	2.2234199	-1.243450e-14	11.668726			
-	7	64	16000	9.553401	1.8813632	-5.995204e-15	11.434764			
8	3 1	128	32000	9.553401	1.4938225	8.881784e-16	11.047224			
(	9 2	256	64000	9.746309	0.9390192	-5.440093e-15	10.685329			
-	10 5	512	128000	10.057033	0.4781550	-9.603429e-15	10.535188			
-	11 10	)24	256000	10.182793	0.1810608	0.000000e+00	10.363853			
-	12 20	048	512000	10.092676	0.0000000	0.000000e+00	10.092676			
-	13 40	096	1024000	10.092676	0.0000000	0.000000e+00	10.092676			
-	14 60	071	1517750	9.381019	0.0000000	0.000000e+00	9.381019			
	Fonte: elaboração própria (2024).									

Tabela 3	: métrie	cas de	diferen	ça glot	bais	para Freitas	et al.	(2023)	e CGE	E (2016)	
$M_{11}$ ] + i	nlog P	0000111+	-ion (	$\gamma_{11} \rightarrow \gamma_{1} + i$	+ * *	Evahango		chi	F+ O	worall	

	Multiples	Resolut	1011	Quantity	Exchange	SHILL	Overall
1		1	250	9.693762	4.9807604	8.881784e-16	14.674523
2		2	500	9.695359	4.9197380	-7.993606e-15	14.615097
3		4	1000	9.698494	4.8034683	2.664535e-15	14.501963
4		8	2000	9.704777	4.6086902	-9.769963e-15	14.313467
5	1	6	4000	9.704777	4.3025836	1.776357e-15	14.007361
6	3	2	8000	9.760214	3.8788938	3.552714e-15	13.639108
7	6	4	16000	9.871963	3.3674719	2.664535e-15	13.239434
8	12	8 3	32000	9.871963	2.6110255	4.440892e-16	12.482988
9	25	6 6	64000	10.071796	1.5064007	-3.552714e-15	11.578197
1	0 51	2 12	28000	10.397304	0.7109833	7.105427e-15	11.108287
1	1 102	4 25	56000	10.567356	0.3346634	0.000000e+00	10.902020
1	2 204	8 52	12000	10.978019	0.0000000	0.000000e+00	10.978019

13	4096	1024000	10.978019	0.0000000	0.000000e+00	10.978019
14	6071	1517750	9.693762	0.0000000	8.881784e-16	9.693762
		Font	e: elaboraçã	o própria (20	024).	

#### Análise das métricas de diferença por categoria

As métricas de diferença por categoria para as comparações são apresentadas na forma de uma tabela de contingência ou matriz composta, em quantidade de pixel e porcentagem. É possível visualizar os resultados na Tabela 4.

			3 1	0 1	1 3	
	Freitas et	al. (2023)	Freitas et	al. (2023)		
	X Bezerr	a et al.	X Tomasel	la et al.	Freitas et	al. (2023)
	(20	20)	(20	18)	X CGEE	(2016)
	Ref. 0	Ref. 1	Ref. 0	Ref. 1	Ref. 0	Ref. 1
	25364298	3066621	26577497		26454295	3822766
	(0.8106146	(0.09553685	(0.8487783	3601441	(0.8434500	(0.12155228
Comp. 0	)	)	1)	(0.1130961)	9)	)
	1871352	1072657	658153		781355	316512
	(0.0574342	(0.03641437	(0.0192704	537837	(0.0245986	(0.01039893
Comp. 1	)	)	7)	(0.0188551)	9)	)

Tabela 4: métricas de diferença por categoria para as comparações.

Fonte: elaboração própria (2024).

Com relação às Rejeições corretas (Ausência/Ausência) para Freitas et al. (2023) e Bezerra et al. (2020), foram contabilizados 25.364.298 pixels, que referem-se a pixels não degradados na referência (1ª coluna) e não degradados na comparação (1ª linha), ou 81% dos pixels. Para Falhas (Ausência/Presença) são 1.871.352 pixels, significando não degradado na referência (1ª coluna) e degradado na comparação (2ª linha), ou 5,7% dos pixels, que estão relacionados aos erros de omissão (Tabela 4).

Alarmes falsos (Presença/Ausência) contabilizam 3.066.621 pixels, ou seja, degradado na referência (2ª coluna), não degradado na comparação (1ª linha), correspondendo a 9,5% dos pixels e que estão associados com erros de comissão. Os Acertos (Presença/Presença) totalizam 1.072.657 pixels, degradado na referência (2ª coluna) e degradado na comparação (2ª linha), que em termos percentuais correspondem a 3,6% dos pixels.

A comparação de métricas de diferença por categorias entre Freitas et al. (2023) e Tomasella et al. (2018) está na Tabela 4. As Rejeições corretas envolvem 26.577.497 ou 84,9%. As Falhas correspondem a 658.153 pixels ou 1,9% (erros de omissão). Os Alarmes falsos estão relacionados com 3.601.441 pixels, 11,3% (erros de comissão). Por fim, Acertos envolvem 537.837 pixels (1,8%).

A terceira comparação de métricas de diferença por categorias é entre Freitas et al. (2023) e CGEE (2016), conforme Tabela 4. As Rejeições corretas estão associadas

a 26.454.295 pixels ou 84,3%. As Falhas envolvem 781.355 pixels ou 2,4% (erros de omissão). Os Alarmes falsos correspondem a 3.822.766 pixels, 12,2% (erros de comissão). Por fim, Acertos envolvem 316.512 pixels (1,0%).

Também foram gerados mapas das três comparações para visualizar onde os Acertos, Rejeições Corretas, Falhas e Alarmes falsos ocorrem na área de estudo. Os mapas estão apresentados na Figura 4. As classes Acertos e Falhas se destacam na comparação entre Freitas et al. (2023) e Bezerra et al. (2020), no primeiro caso na região norte da Bahia e no segundo na porção mais central e norte da área de estudo. No caso de Freitas et al. (2023) e Tomasella et al. (2018) percebe-se um padrão mais disperso entre as classes, com um pouco mais de agrupamento nos Alarmes falsos em diferentes regiões. Para Freitas et al. (2023) e CGEE (2016), há maiores agrupamentos de Alarmes falsos na Bahia e de Falhas no Ceará e Rio Grande do Norte.



Figura 4: distribuição espacial das métricas de diferença por categorias para as comparações.

Fonte: elaboração própria (2024).

A partir dos mapas foi possível calcular a área de cada métrica e seu percentual em relação a área de estudo (Tabela 5). Destacam-se 5,89% de Acertos entre Freitas et al. (2023) e Bezerra et al. (2020). Menores valores de Acertos (2,95%) e Falhas

(3,6%) entre Freitas et al. (2023) e Tomasella et al. (2018). Maiores valores de Alarmes falsos (21,04%) entre Freitas et al. (2023) e CGEE (2016).

Classe	Freitas et (2023) X Bezerra et (2020)	al. al.	Freitas et (2023) X Tom et al. (20	al. asella )18)	Freitas et al X CGEE (2	. (2023) 016)
	Área (km²)	010	Área (km²)	00	Área (km²)	00
1 - Acertos	65.182,21	5,89	32.673,39	2,95	19.233,51	1,74
2 - Alarmes falsos	187.042,02	16,9	219.550,84	19,83	232.990,71	21,04
3 - Falhas	113.336,21	10,2	398.13,64	3,6	47.436,96	4,28
4 - Rejeições corretas	741.784,46	67 <b>,</b> 0	815.307,03	73,63	807.683 <b>,</b> 72	72,94

<b>TILE</b> /		<i></i>			~
lahela 5º área e	nercentual das	métricas d	le diterenca i	nor catedoria i	nara as comparações
	percentual aas	methods c	ie unereniça j	por calegoria j	para as comparações.

Fonte: elaboração própria (2024).

### Análise espacial de padrões de pontos

A análise espacial está baseada nos resultados apresentados nos gráficos de Função G e nos mapas de densidade de Kernel.

Considerando a Figura 5, a linha preta G<sup>(km)</sup>(R) representa a função G estimada a partir dos dados observados. A linha vermelha, G<sup>(pois)</sup>(R) refere-se a uma média de simulações considerando a localização dos pontos distribuídos aleatoriamente (Poisson). Quando a linha preta está acima da linha vermelha, há indícios de agrupamento, do contrário há indícios de regularidade nos pontos (BADDELEY; TURNER, 2024; CAMARGO; FELGUEIRAS, 2024).

Na Figura 5 estão representados os gráficos da Função G da comparação entre Freitas et al. (2023) ou Ref e Bezerra et al. (2020), para Alarmes falsos e Falhas. No primeiro caso é possível observar que a linha preta ultrapassa a vermelha próximo da distância de 250 m e depois se estabiliza, no caso das Falhas, a linha preta da estimativa dos dados observados permanece contínua, próxima ou igual a zero.

Nas Figuras 6 e 7 estão representados os gráficos da Função G da comparação entre Freitas et al. (2023) e Tomasella et al. (2018) e Freitas et al. (2023) e CGEE (2016), respectivamente.

Apenas no primeiro gráfico (Freitas et al. (2023) ou Ref e Bezerra et al. (2020), para Alarmes falsos) foi possível identificar algum indício de agrupamento, nos demais casos a função G dos valores observados foi representada como uma linha com valor igual ou próximo de zero, abaixo da vermelha, indicando um indício de regularidade. Devido a isso só foi possível obter o valor do raio de suavização para a função kernel da primeira comparação.

As razões para esse comportamento precisam ser melhor investigadas, mas acredita-se que a conversão dos pixels em pontos pelo centróide do pixel pode ter introduzido alguma uniformidade nos dados, prejudicando a visualização de agrupamentos.

Para facilitar a comparação entre os mapas, utilizou-se o mesmo valor do raio em todos os casos, 250 metros. Os mapas de densidade de Kernel para as três comparações estão representados na Figura 8.



Fonte: elaboração própria (2024).











Fonte: elaboração própria (2024).

Figura 8: mapas de densidade de Kernel comparando Freitas et al. 2023 (Ref) com os demais estudos, para as métricas Alarmes falsos e Falhas.



Fonte: elaboração própria (2024).

As falhas se destacam na comparação entre Freitas et al. (2023) e Bezerra et al. (2020), com maiores concentrações numa mancha que vai do centro da Bahia até o centro do Rio Grande do Norte, enquanto que os Alarmes falsos estão mais dispersos. No caso de Freitas et al. (2023) e Tomasella et al. (2018), percebe-se um pouco mais de agrupamento nos Alarmes falsos em diferentes regiões, como Bahia, leste da Paraíba e oeste do Piauí, as Falhas se concentram principalmente no centro do Rio Grande do Norte. Para Freitas et al. (2023) e CGEE (2016) há maiores agrupamentos de Alarmes Falsos no centro e norte da Bahia e também na Paraíba, enquanto que as Falhas estão concentradas no Ceará, Rio Grande do Norte e centro da Bahia.

## Comparação entre os resultados

A partir das métricas de diferença globais é possível verificar que a Troca é a principal fonte de diferença na comparação de Freitas et al. (2023) e Bezerra et al. (2020). Isso indica que há maiores trocas de categorias entre si espacialmente. Enquanto que nos estudos de Tomasella et al. (2018) e CGEE (2016) em relação a Freitas et al. (2023) é a Quantidade de diferença que domina as diferenças, indicando que há maior mudança na quantidade absolutas de pixels degradados e não degradados, sem considerar a localização. Também foi possível perceber que Diferença geral diminui com as alterações na resolução.

Considerando as métricas de diferença por categoria e a análise de densidade de Kernel, o estudo de Bezerra et al. (2020) está mais próximo de Freitas et al. (2023) comparando Acertos (maior percentual de concordância de degradado na referência e na comparação) e Alarmes falsos (menor proporção de casos de erro de comissão, em que a referência indicou degradação e a comparação indicou não degradado).

No caso do estudo de Tomasella et al. (2018), está mais aproximado de Freitas et al. (2023) comparando Falhas (menor proporção de erros de omissão, quando a referência indica não degradado e a comparação indica degradação) e Rejeições corretas (maior percentual de concordância de não degradado em ambos os mapas). Na comparação com CGEE (2016) houveram maiores Alarmes falsos e menores Acertos, sendo o mapa com maior divergência.

A região central e norte da Bahia é a área que possui maiores agrupamentos de Acertos, 9.341,927 km<sup>2</sup> ou 0,84% da área, comparando todos os estudos (Figura 9). É portanto uma área chave para novas pesquisas científicas e ações para reversão da degradação da terra, visto que todos os estudos apontaram-na como uma área degradada. As Rejeições corretas se distribuem por toda a área de estudo e envolvem uma área de 709.996,3 km<sup>2</sup> ou 64,1%. Apesar dessas convergências, as divergências entre os estudos são significativas e isso provavelmente se deve ao uso de metodologias diferentes.



Figura 9: mapa das regiões com Acertos e Rejeições corretas em todas as comparações.

Fonte: elaboração própria (2024).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A utilização de métricas de diferença globais e por categoria e a análise espacial permitiram ter uma visão detalhada sobre as principais diferenças entre os mapeamentos e onde essas diferenças ocorrem, além da verificação de como as diferenças se comportam com o agrupamento de pixels.

Com os mapas de densidade de Kernel foi possível verificar também onde estão concentradas as principais divergências entre os conjuntos de mapas a partir da localização dos pontos e sua relação com os vizinhos, e que os padrões de diferença variam de acordo com cada comparação.

As métricas de diferença globais permitiram verificar que a Troca é a principal fonte de diferença na comparação de Freitas et al. (2023) com Bezerra et al. (2020) e a

Quantidade de diferença predominou nos estudos de Tomasella et al. (2018) e CGEE (2016). Também foi possível perceber que Diferença geral diminui com as alterações na resolução, indicando que a redução da resolução, ou mapas com pixels maiores, pode diminuir as diferenças entre os mapas de degradação.

A região norte da Bahia é a área que possui maiores Acertos considerando todos os estudos, porém abrange um percentual pequeno em relação a toda a área de estudo, e provavelmente essa diferença se deve ao uso de metodologias distintas.

Para reduzir os erros de comissão, recomenda-se a utilização do estudo de Bezerra et al. (2020), com menor proporção de Alarmes falsos. Ele também foi o estudo com maiores Acertos em relação à referência. Para reduzir os erros de omissão, o estudo de Tomasella et al. (2018) é mais adequado, pois possui menos Falhas. Ele também possui maior proporção de Rejeições corretas.

Outra possibilidade, não explorada neste artigo, é utilizar os resultados das três comparações para gerar um único mapa de áreas degradadas com os melhores resultados de cada mapa, com inclusão da incerteza associada a cada métrica.

Espera-se que esta análise comparativa tenha contribuído como um diagnóstico das principais diferenças entre mapeamentos de degradação no Semiárido brasilieiro e também na indicação das regiões mais degradadas de acordo com todos os estudos.

# REFERÊNCIAS

BADDELEY, A.; TURNER, R. **Gest**: Nearest Neighbour Distance Function G. 2024. <u>https://www.rdocumentation.org/packages/spatstat.explore/versions/3.3-3/topics/Gest</u>

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.

CAMARGO, E; FELGUEIRAS, C. **AULA 1 - Análise de Padrão de Distribuição de Pontos.** Aplicação de Métodos Estatísticos Espaciais para Análise de Dados Geográficos. 2024.

CGEE. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2016.

CHENG, C., MESSERSCHMIDT, L., BRAVO, I. et al. A General Primer for Data Harmonization. **Sci Data** 11, 152 (2024). <u>https://doi.org/10.1038/s41597-024-02956-3</u>

FONSECA, A. V. G.; PONTIUS JR, R. G. Comparison among time series maps of deforestation in the Amazon: how independent monitoring systems relate to official data. in: Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos..., INPE, 2023. Disponível em: <a href="http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2023/05.10.19.29/doc/155782.pdf?lang">http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2023/05.10.19.29/doc/155782.pdf?lang</a> uagebutton=en> Acesso em: 16 Out. 2024.

FREITAS, N. M.; BARROS, J. D.; ARCOVERDE, G. F.; BRANCO, E. A. **Data on land degradation for Brazil**. Mendeley Data, V1, 2023. Disponível em: <u>https://data.mendeley.com/datasets/nmsf2b9tr7/1</u>

GATRELL, A. C.; BAILEY, T. C.; DIGGLE, P. J.; ROWLINGSON, B. S. Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. **Trans Inst Br Geogr**, NS, v. 21, p. 256-274, 1996. ISSN 0020-2754.

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

MAPBIOMAS. Condição de vigor da pastagem. 2020. Disponível em: <a href="https://brasil.mapbiomas.org/colecces-mapbiomas/">https://brasil.mapbiomas.org/colecces-mapbiomas/</a>. Acesso em: 31 out. 2024. OPENAI. ChatGPT. Disponível em: <a href="https://chat.openai.com">https://chat.openai.com</a>. Acesso em: 09 dez. 2024.

PONTIUS JR., R. G. **Metrics That Make a Difference**. How to Analyze Change and Error. Advances in Geographic Information Science, 2022. ISBN 978-3-030-70764-4, <u>https://doi.org/10.1007/978-3-030-70765-1</u>.

PONTIUS JR., R. G.; SANTACRUZ, A. diffeR: **Metrics of Difference for Comparing Pairs of Maps or Pairs of Variables**. 2023. Link: <u>https://rdrr.io/cran/diffeR/#vignettes</u>.

PONTIUS JR., R. G.; SANTACRUZ, A. Quantity, exchange, and shift components of difference in a square contingency table, **International Journal of Remote Sensing**, 35:21, 7543-7554, 2014. DOI: 10.1080/2150704X.2014.969814.

SADECK, L. **Resolução espacial x escala.** 2009. Link: https://geotecnologias.wordpress.com/2009/09/19/resolucao-espacial-vs-escala/

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

TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M. S. P.; BARBOSA, A. A.; RODRIGUEZ, D.I A.; SANTANA, M. O.; SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Volume 73, 2018, https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.012.

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.