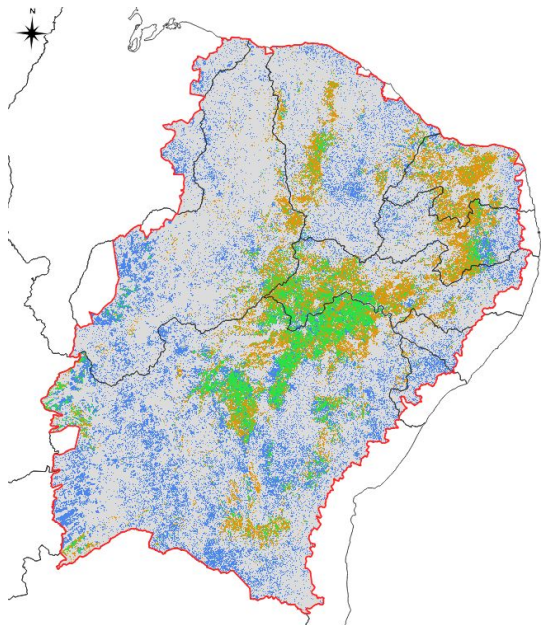


ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MAPEAMENTOS DE DEGRADAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO



Discente: Jocilene Dantas Barros

Professores Responsáveis : Antônio Miguel V. Monteiro
e Eduardo G. Camargo

Disciplina: SER 301 - Análise espacial de dados
geográficos/2024

INTRODUÇÃO

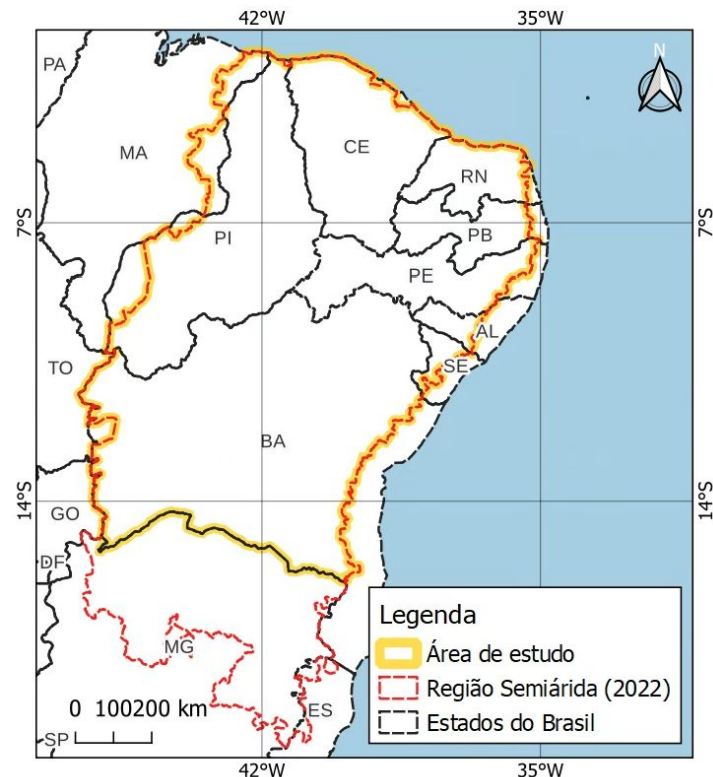
- A degradação da terra é um processo complexo que culmina na perda ou redução da produtividade biológica e econômica das terras;
- A desertificação é um consequência grave desse processo em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas;
- A neutralidade da degradação é uma meta global do ODS 15;
- Existem diferentes metodologias para mapear a degradação na região semiárida;
- É importante verificar regiões de convergência e divergência entre os estudos.



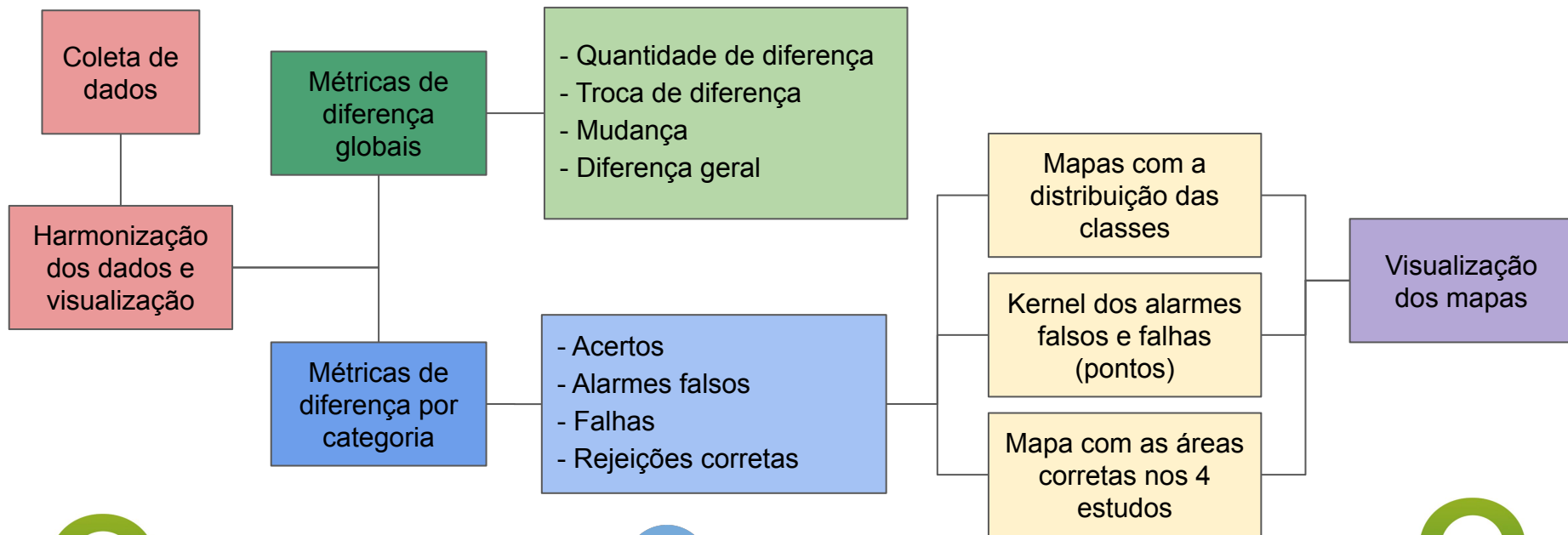
Área em processo de desertificação. Fonte: pesquisa de campo realizada em Abril de 2022, Barra de Santana/PB, Jocilene Barros.

OBJETIVO E ÁREA DE ESTUDO

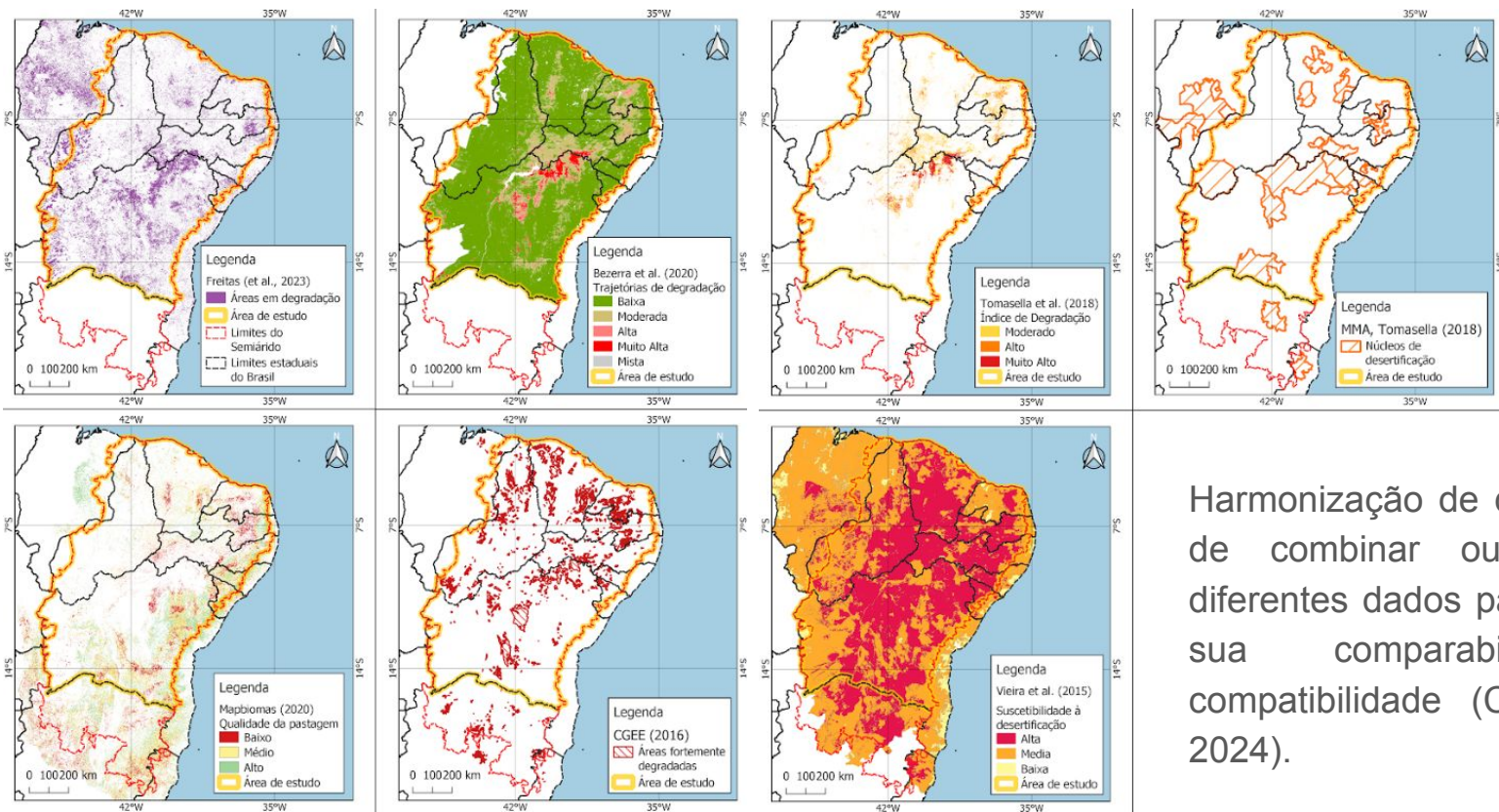
- Realizar uma comparação entre mapeamentos de degradação para uma região no semiárido brasileiro por meio de métricas de diferença e análise espacial;
- Área de estudo: semiárido na região Nordeste.



FLUXOGRAMA METODOLÓGICO



ESTUDOS PARA ANÁLISE

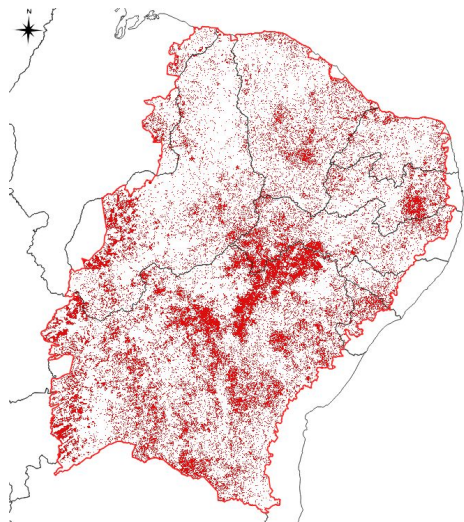


Harmonização de dados: prática de combinar ou transformar diferentes dados para maximizar sua comparabilidade ou compatibilidade (Cheng et al., 2024).

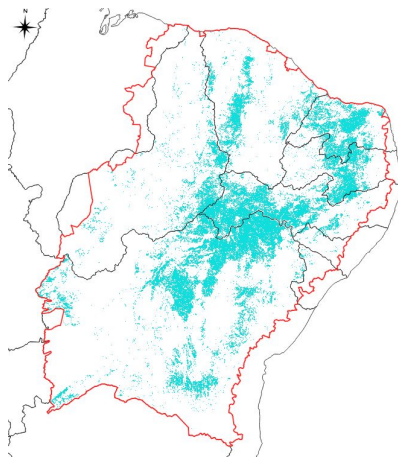
TABELA COMPARATIVA

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, transição de um período para o outro	Brasil	30 m / 250 m	2001-2020
Bezerra et al. (2020)	Áreas potencialmente em degradação / desertificação	Áreas com ausência de cobertura vegetal, baixa capacidade de respostas da vegetação à precipitação, sinais de erosão e ausência de atividades produtivas	EVI, trajetórias de degradação (moderada, alta, muito alta)	Região semiárida no nordeste (limite anterior)	30 m	2000-2016
Tomasella et al. (2018)	Índice de degradação	Monitoramento de áreas de solo descoberto persistente e frequente, que são indicativas de degradação da terra	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, dispo. Tomasella et al. (2018)	Núcleos de desertificação	Áreas prioritárias do Ministério do Meio Ambiente do Brasil para combater a desertificação	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 (https://lapig.iesa.ufg.br/p/38972-atlas-das-pastagens)	Brasil	30 m	Anual (usei 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

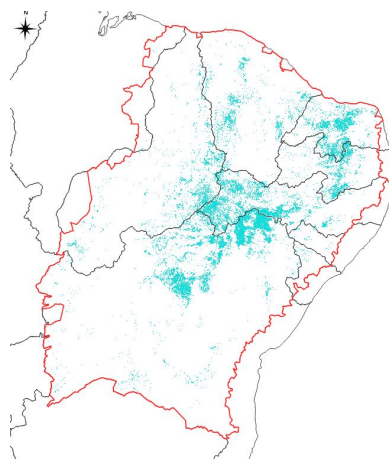
ESTUDOS SELECIONADOS



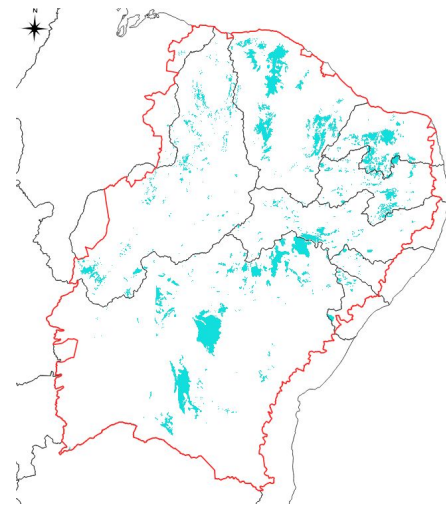
Referência:
Freitas et al. (2023)



Comparação:
Bezerra et al. (2020)



Tomasella et al. (2018)

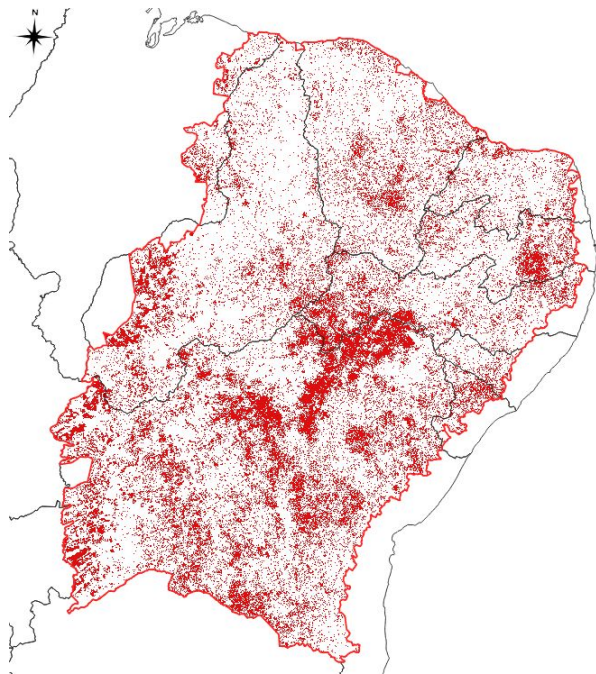


CGEE (2016)



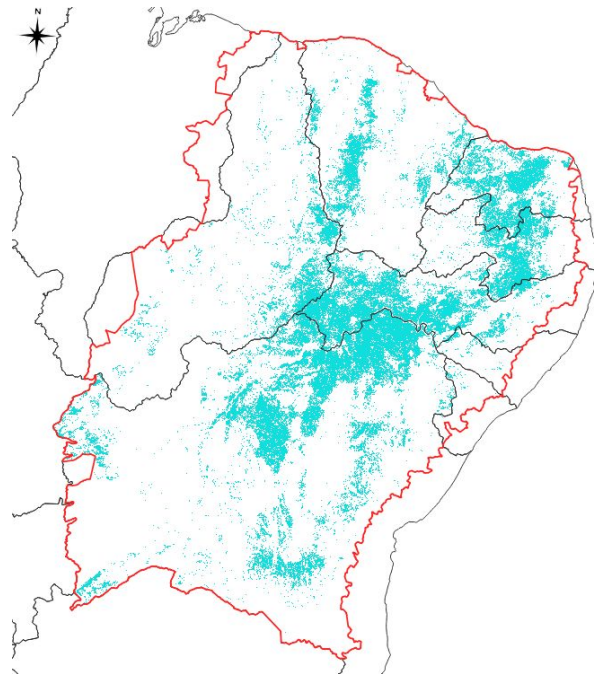
Procedimentos: reprojeção (5880), reclassificação, padronização do pixel para 250 m.

MÉTRICAS DE DIFERENÇA



Referência:
Freitas et al. (2023)

Comparação:
Bezerra et al. (2020)



MÉTRICAS DE DIFERENÇA GLOBAIS

- Quantity/Quantidade de diferença: 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 localização);

Quantity = 6, Exchange = 0, Shift = 0

Time t

A	A
A	A
A	A

Time $t+1$

B	B
B	B
B	B

		Time $t+1$			Total
		A	B	C	
Time t	A	0	6	0	6
	B	0	0	0	0
	C	0	0	0	0
	Total	0	6	0	6

MÉTRICAS DE DIFERENÇA GLOBAIS

- Exchange/Troca de diferença: diferença devido à troca de categorias entre células, é a diferença na forma como as presenças e ausências de referência e comparação estão alocadas e reflete as áreas onde categorias trocaram entre si diretamente;

Quantity = 0, Exchange = 6, Shift = 0

Time t

A	B
A	B
A	B

Time $t+1$

B	A
B	A
B	A

		Time $t+1$			Total
		A	B	C	
Time t	A	0	3	0	3
	B	3	0	0	3
	C	0	0	0	0
Total		3	3	0	6

MÉTRICAS DE DIFERENÇA GLOBAIS

- Shift/Mudança/Deslocamento: diferença residual após subtrair a diferença de quantidade e troca da diferença geral, devido ao deslocamento espacial das categorias;
- Overall/Diferença Geral: A soma total das diferenças (quantidade, troca e mudança).

Quantity = 0, Exchange = 0, Shift = 6

Time t

A	A
B	B
C	C

Time $t+1$

C	C
A	A
B	B

		Time $t+1$			Total
		A	B	C	
Time t	A	0	0	2	2
	B	2	0	0	2
	C	0	2	0	2
Total		2	2	2	6

MÉTRICAS DE DIFERENÇA GLOBAIS

Como as diferenças variam entre os mapas com a agregação espacial?

Qual métrica mostra mais discrepância entre a referência e a comparação?

	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
10	512	128000	3.995989	5.760637	0.000000e+00	9.756626
11	1024	256000	3.856201	4.958878	0.000000e+00	8.815079
12	2048	512000	3.088373	3.104126	0.000000e+00	6.192499
13	4096	1024000	3.088373	0.000000	0.000000e+00	3.088373
14	6071	1517750	3.809631	0.000000	0.000000e+00	3.809631

```
result_ref_Bezerra <- differenceMR(raster_Bezerra, raster_ref, eval = "multiple", percent = TRUE, fact = 2)
```

fact 2 = cada bloco de 2x2 pixels resumido em um único valor. Utiliza a função “aggregate” ao mudar a resolução, que tem como padrão a média.

MÉTRICAS DE DIFERENÇA GLOBAIS

- **Quantidade de diferença:** pouca variação entre as resoluções, valor baixo indica que a quantidade total em cada classe é similar; quantidade domina em resoluções mais baixas;
- **Troca:** reduz com o aumento do pixel, a mudança espacial (troca) é a principal fonte de diferença em diferentes resoluções, sobretudo no pixel menor;
- **Mudança:** próximo de zero, a diferença está em quantidade e troca; mapas bem alinhados;
- **Diferença geral:** diminui com o aumento do pixel, pois agregações tendem a suavizar as diferenças.

	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
10	512	128000	3.995989	5.760637	0.000000e+00	9.756626
11	1024	256000	3.856201	4.958878	0.000000e+00	8.815079
12	2048	512000	3.088373	3.104126	0.000000e+00	6.192499
13	4096	1024000	3.088373	0.000000	0.000000e+00	3.088373
14	6071	1517750	3.809631	0.000000	0.000000e+00	3.809631

MÉTRICAS DE DIFERENÇA POR CATEGORIA

- **Rejeições corretas** (Ausência/Ausência): 25364298, não degradado na referência (1ª coluna), não degradado na comparação (1ª linha), 81% dos pixels;
- **Falhas** (Ausência/Presença): 1871352, não degradado na referência (1ª coluna), degradado na comparação (2ª linha), 5,7% dos pixels, erros de omissão;
- **Alarmes falsos** (Presença/Ausência): 3066621, degradado na referência (2ª coluna), não degradado na comparação (1ª linha), 9,5% dos pixels, erros de comissão;
- **Acertos** (Presença/Presença): 1072657, degradado na referência (2ª coluna), degradado na comparação (2ª linha). 3,6% dos pixels.

Tabela de contingência

	Ref. 0	Ref. 1
Comp. 0	25364298	3066621
Comp. 1	1871352	1072657

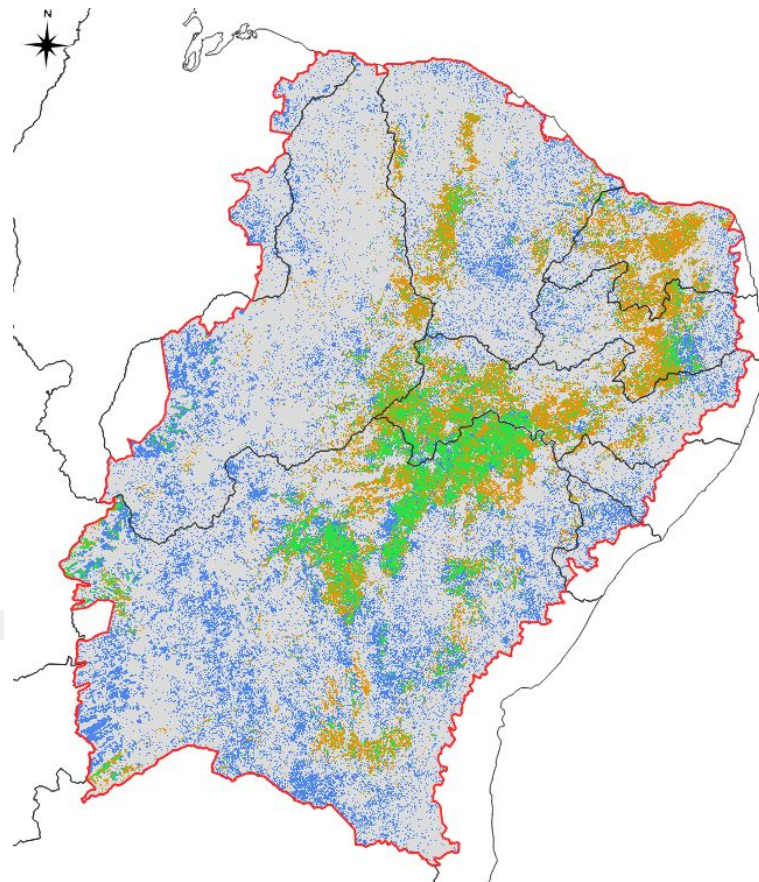
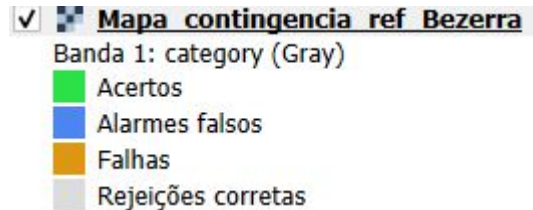
Matriz composta (%)

	Ref.0	Ref.1
Comp. 0	0.8106146	0.09553685
Comp. 1	0.0574342	0.03641437

```
tabcont_BezerraRef <- crosstabm(raster_Bezerra, raster_ref)
result_compmatrix_BezerraRef <- composite(raster_Bezerra, raster_ref, factor = 2)
```

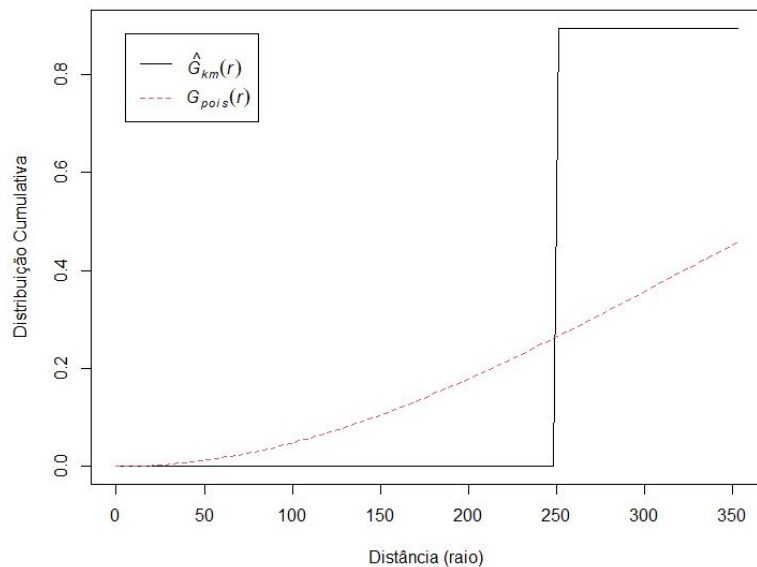
MAPA COM AS CLASSES

Classe	Área km ²	%
1 - Acertos	65.182,21	5,89
2 - Alarmes falsos	187.042,02	16,9
3 - Falhas	113.336,21	10,2
4 - Rejeições corretas	741.784,46	67

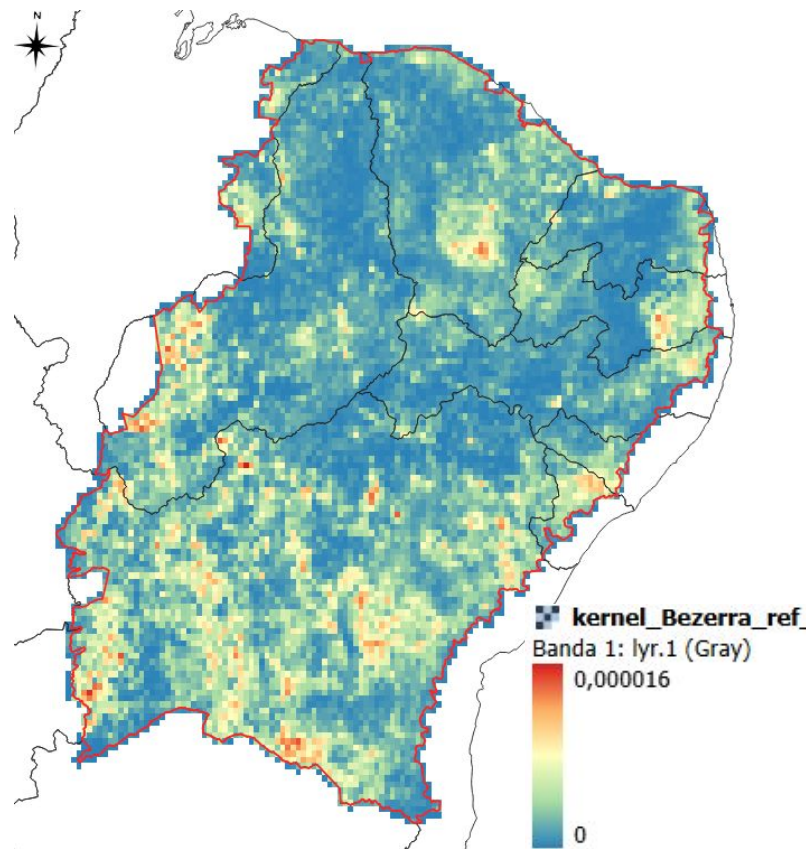


DENSIDADE DE KERNEL DOS ALARMES FALSOS

Função G - Comparação Ref e Bezerra - Alarmes falsos

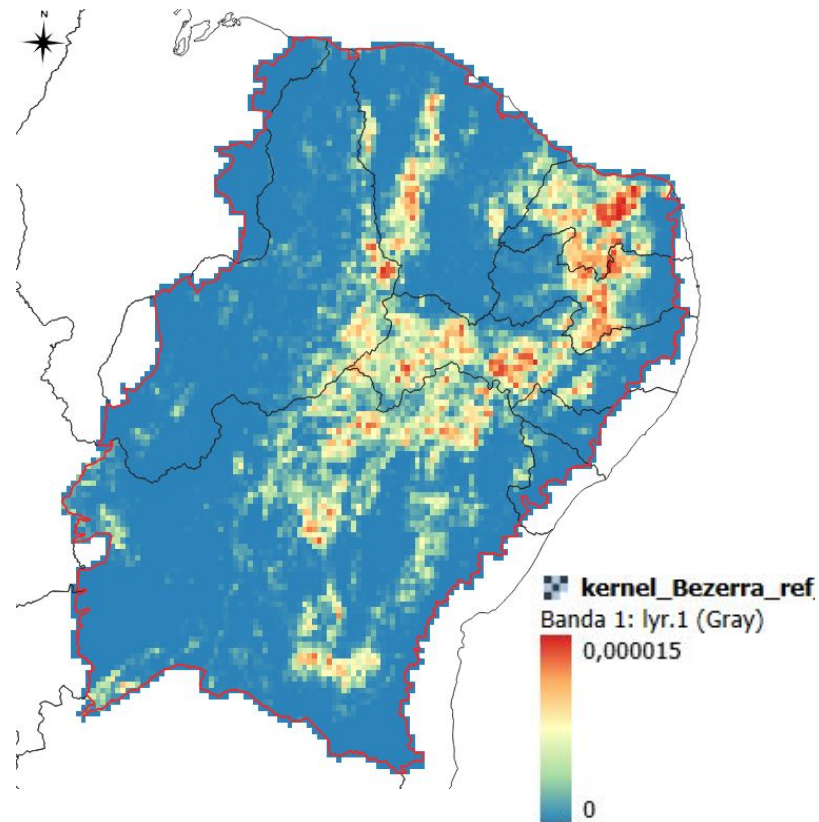
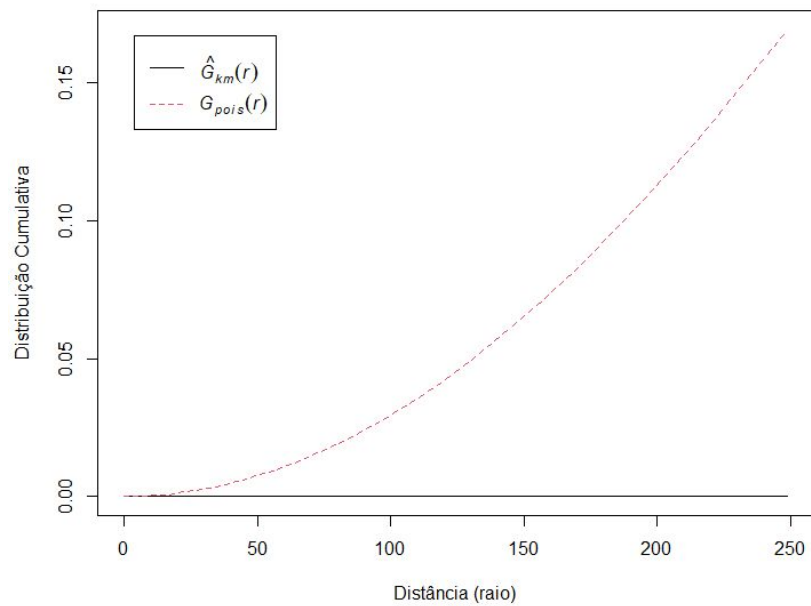


Função de distribuição cumulativa para verificar evidências de agrupamento.

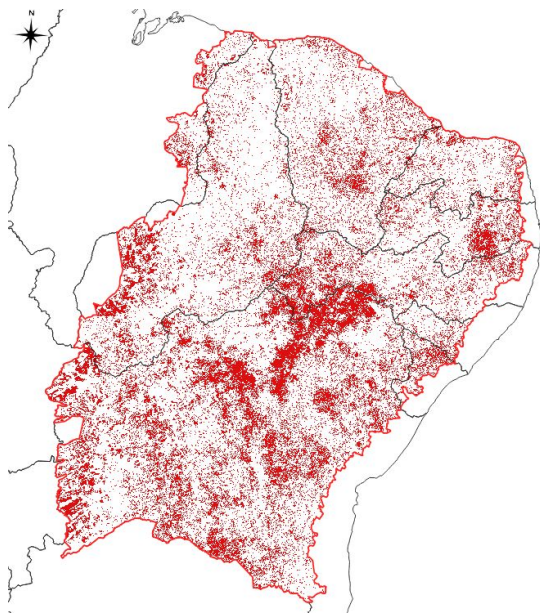


DENSIDADE DE KERNEL DAS FALHAS

Função G - Comparação Ref e Bezerra - Falhas

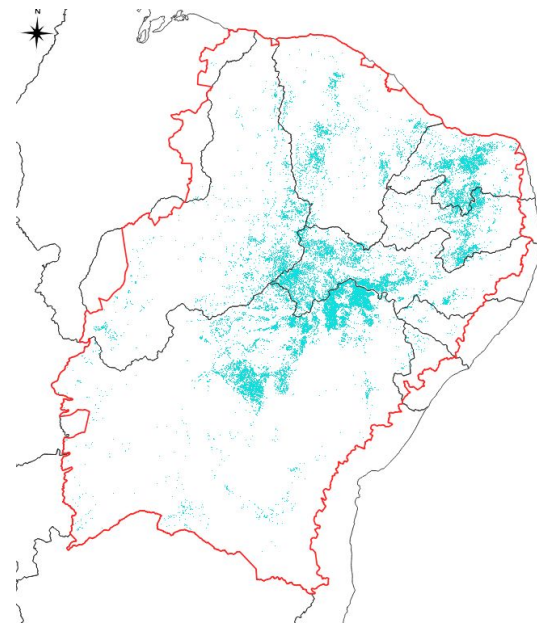


MÉTRICAS DE DIFERENÇA



Referência:
Freitas et al. (2023)

Comparação:
Tomasella et al. (2018)



MÉTRICAS DE DIFERENÇA GLOBAIS

- **Quantidade de diferença:** maior variação entre as resoluções, quantidade domina em todas as resoluções;
- **Troca:** reduz com o aumento do pixel e é menor que a quantidade;
- **Mudança:** valores negativos a próximo de zero, diminui com o aumento da resolução (menor valor de pixel);
- **Diferença geral:** diminui com o aumento do pixel.

	Multiples	Resolution	Quantity	Exchange	Shift	Overall
1	1	250	9.381019	4.1954072	-8.881784e-16	13.576426
2	2	500	9.382565	3.8540939	-1.776357e-15	13.236658
3	4	1000	9.385596	3.3858147	1.776357e-15	12.771411
4	8	2000	9.391673	2.9343032	5.329071e-15	12.325976
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	128	32000	9.553401	1.4938225	8.881784e-16	11.047224
9	256	64000	9.746309	0.9390192	-5.440093e-15	10.685329
10	512	128000	10.057033	0.4781550	-9.603429e-15	10.535188
11	1024	256000	10.182793	0.1810608	0.000000e+00	10.363853
12	2048	512000	10.092676	0.0000000	0.000000e+00	10.092676
13	4096	1024000	10.092676	0.0000000	0.000000e+00	10.092676
14	6071	1517750	9.381019	0.0000000	0.000000e+00	9.381019

MÉTRICAS DE DIFERENÇA POR CATEGORIA

- **Rejeições corretas** (Ausência/Ausência): 26577497, não degradado na referência (1ª coluna), não degradado na comparação (1ª linha), 84,9% dos pixels;
- **Falhas** (Ausência/Presença): 658153, não degradado na referência (1ª coluna), degradado na comparação (2ª linha), 1,9% dos pixels, erros de omissão;
- **Alarmes falsos** (Presença/Ausência): 3601441, degradado na referência (2ª coluna), não degradado na comparação (1ª linha), 11,3% dos pixels, erros de comissão;
- **Acertos** (Presença/Presença): 537837, degradado na referência (2ª coluna), degradado na comparação (2ª linha). 1,8% dos pixels.

Tabela de contingência

	Ref. 0	Ref. 1
Comp. 0	26577497	3601441
Comp. 1	658153	537837

Matriz composta (%)

	Ref.0	Ref.1
Comp. 0	0.84877831	0.1130961
Comp. 1	0.01927047	0.0188551

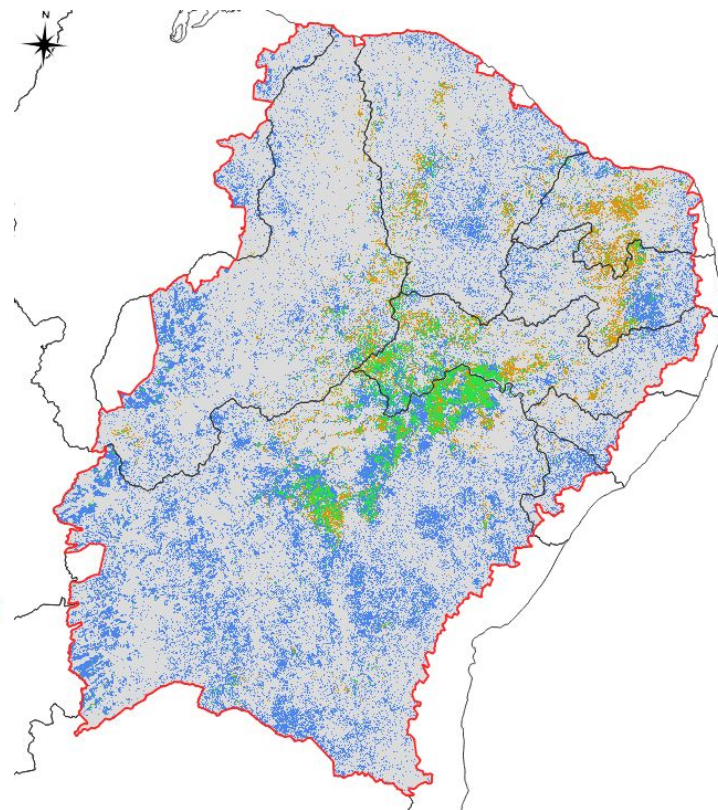
MAPA COM AS CLASSES

Classe	Área km ²	%
1 - Acertos	32.673,39	2,95
2 - Alarmes falsos	219.550,84	19,83
3 - Falhas	398.13,64	3,6
4 - Rejeições corretas	815.307,03	73,63

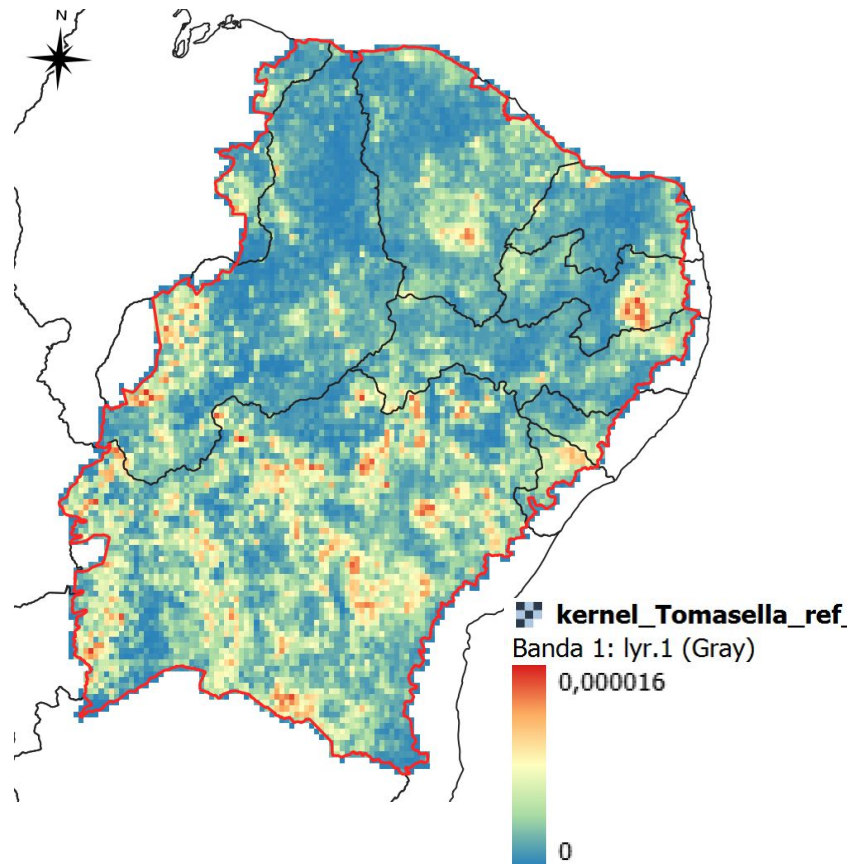
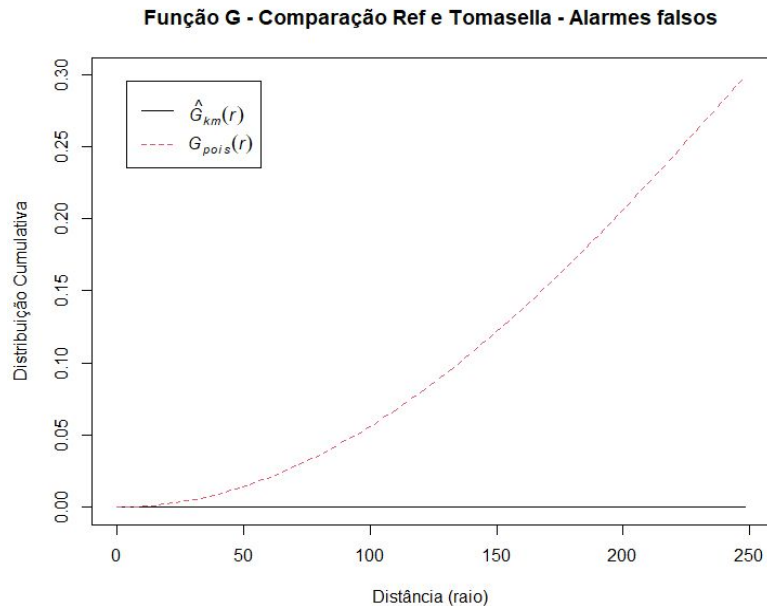
Mapa contingencia ref Tomasella

Banda 1: category (Gray)

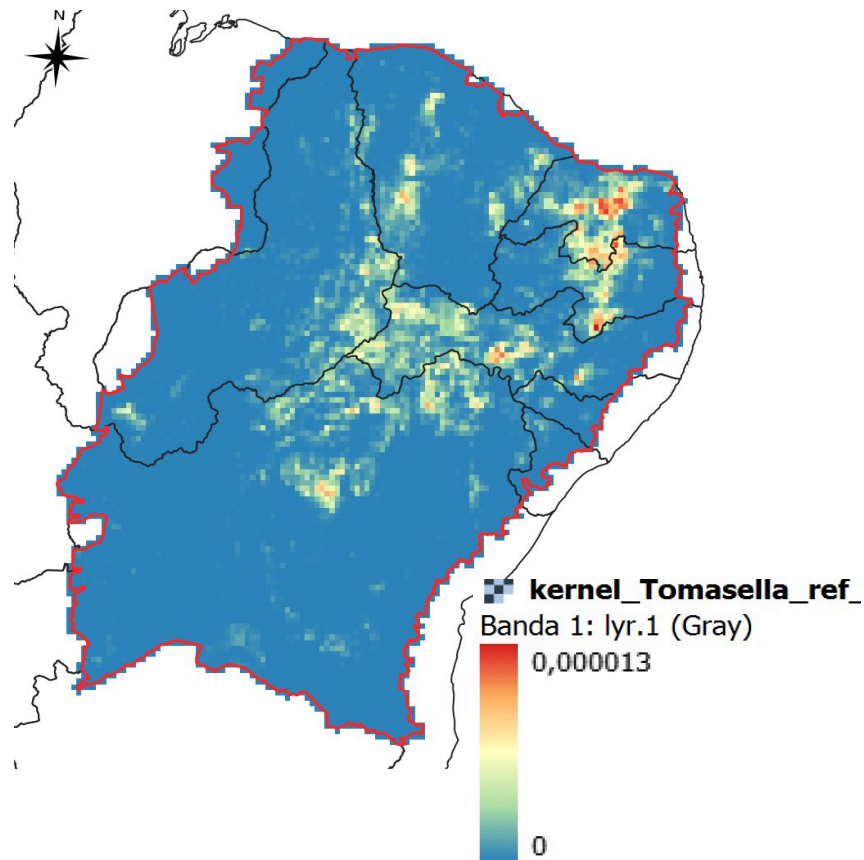
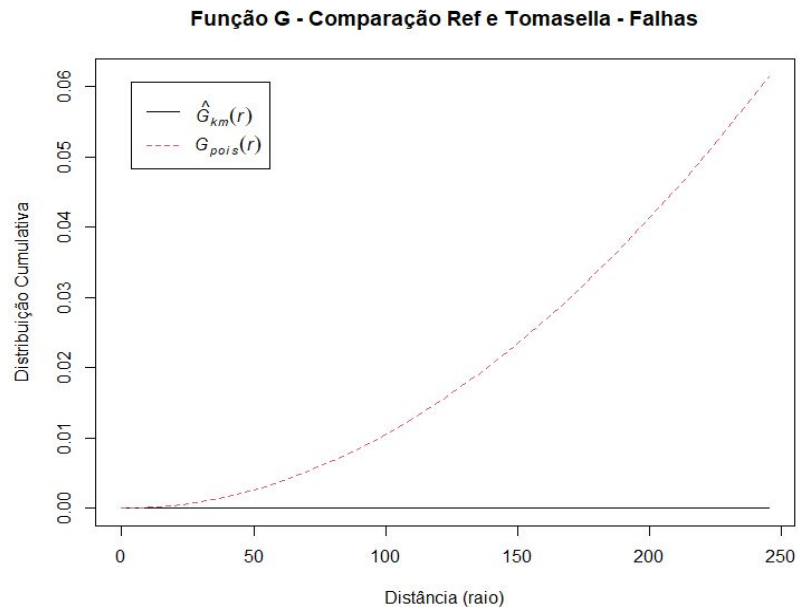
-  Acertos
-  Alarmes falsos
-  Falhas
-  Rejeições corretas



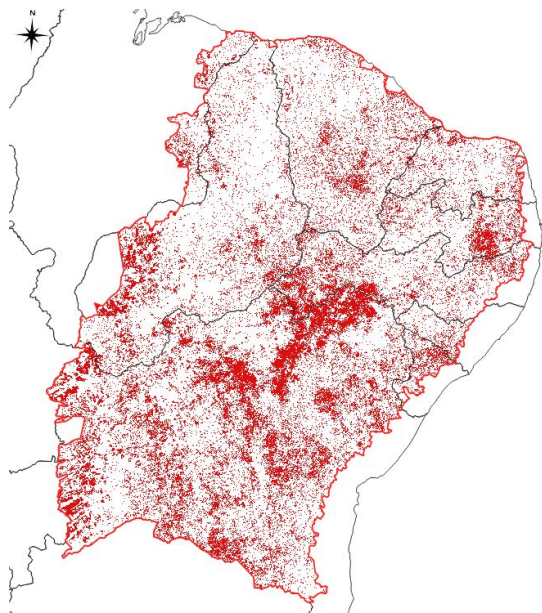
DENSIDADE DE KERNEL DOS ALARMES FALSOS



DENSIDADE DE KERNEL DAS FALHAS

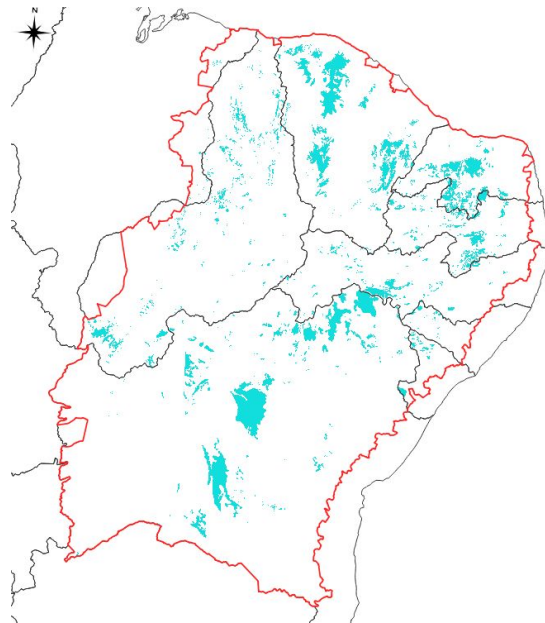


MÉTRICAS DE DIFERENÇA



Referência:
Freitas et al. (2023)

Comparação:
CGEE (2016)



MÉTRICAS DE DIFERENÇA GLOBAIS

- **Quantidade de diferença:** maior variação entre as resoluções, quantidade domina em todas as resoluções;
- **Troca:** reduz com o aumento do pixel e é menor que a quantidade;
- **Mudança:** valores negativos a próximo de zero, diminui com o aumento da resolução (menor valor de pixel);
- **Diferença geral:** diminui com o aumento do pixel.

	Multiples	Resolution	Quantity	Exchange	Shift	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	16	4000	9.704777	4.3025836	1.776357e-15	14.007361
6	32	8000	9.760214	3.8788938	3.552714e-15	13.639108
7	64	16000	9.871963	3.3674719	2.664535e-15	13.239434
8	128	32000	9.871963	2.6110255	4.440892e-16	12.482988
9	256	64000	10.071796	1.5064007	-3.552714e-15	11.578197
10	512	128000	10.397304	0.7109833	7.105427e-15	11.108287
11	1024	256000	10.567356	0.3346634	0.000000e+00	10.902020
12	2048	512000	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

MÉTRICAS DE DIFERENÇA POR CATEGORIA

- **Rejeições corretas** (Ausência/Ausência): 26454295, não degradado na referência (1ª coluna), não degradado na comparação (1ª linha), 84,3% dos pixels;
- **Falhas** (Ausência/Presença): 781355, não degradado na referência (1ª coluna), degradado na comparação (2ª linha), 2,4% dos pixels, erros de omissão;
- **Alarmes falsos** (Presença/Ausência): 3822766, degradado na referência (2ª coluna), não degradado na comparação (1ª linha), 12,2% dos pixels, erros de comissão;
- **Acertos** (Presença/Presença): 316512, degradado na referência (2ª coluna), degradado na comparação (2ª linha). 1,0% dos pixels.

Tabela de contingência

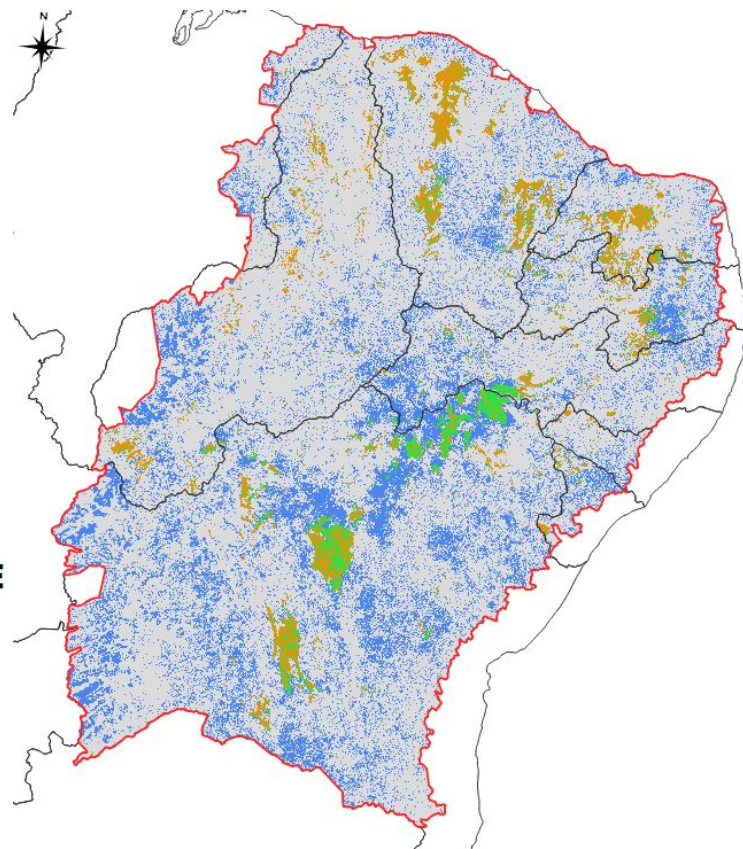
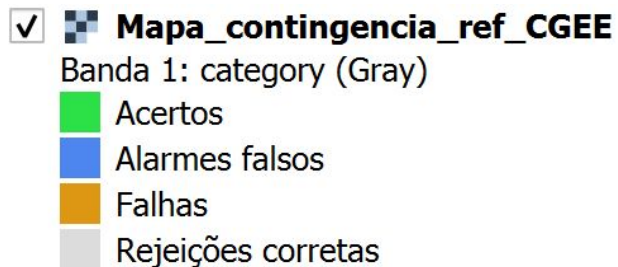
	Ref. 0	Ref. 1
Comp. 0	26454295	3822766
Comp. 1	781355	316512

Matriz composta (%)

	Ref.0	Ref.1
Comp. 0	0.84345009	0.12155228
Comp. 1	0.02459869	0.01039893

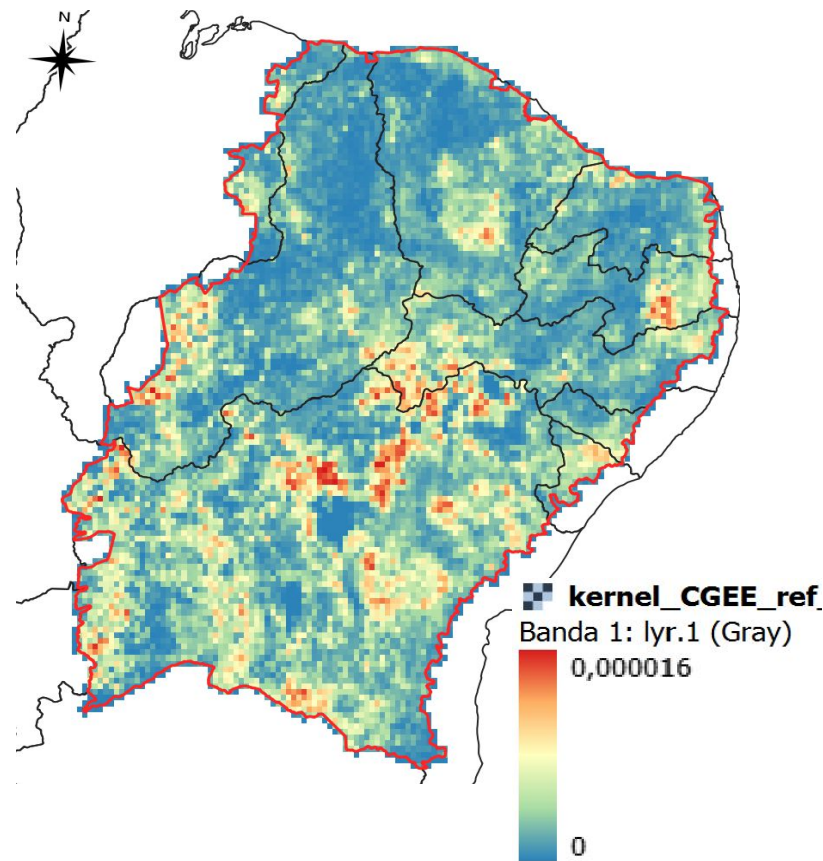
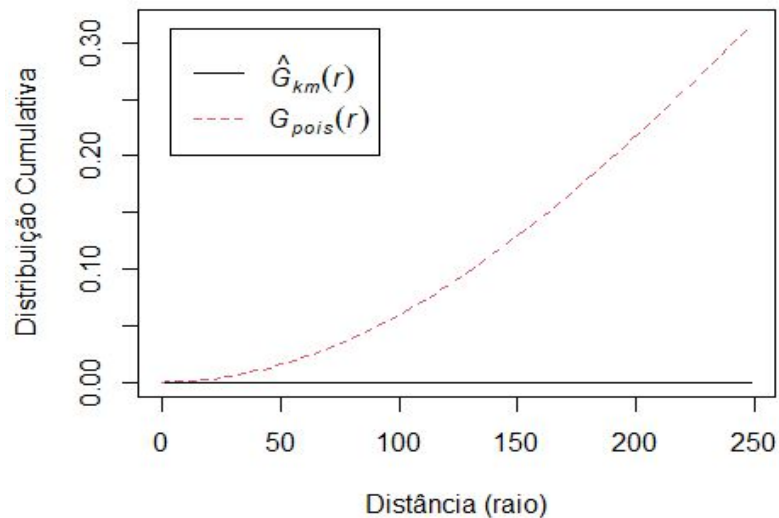
MAPA COM AS CLASSES

Classe	Área km ²	%
1 - Acertos	19.233,51	1,74
2 - Alarmes falsos	232.990,71	21,04
3 - Falhas	47.436,96	4,28
4 - Rejeições corretas	807.683,72	72,94



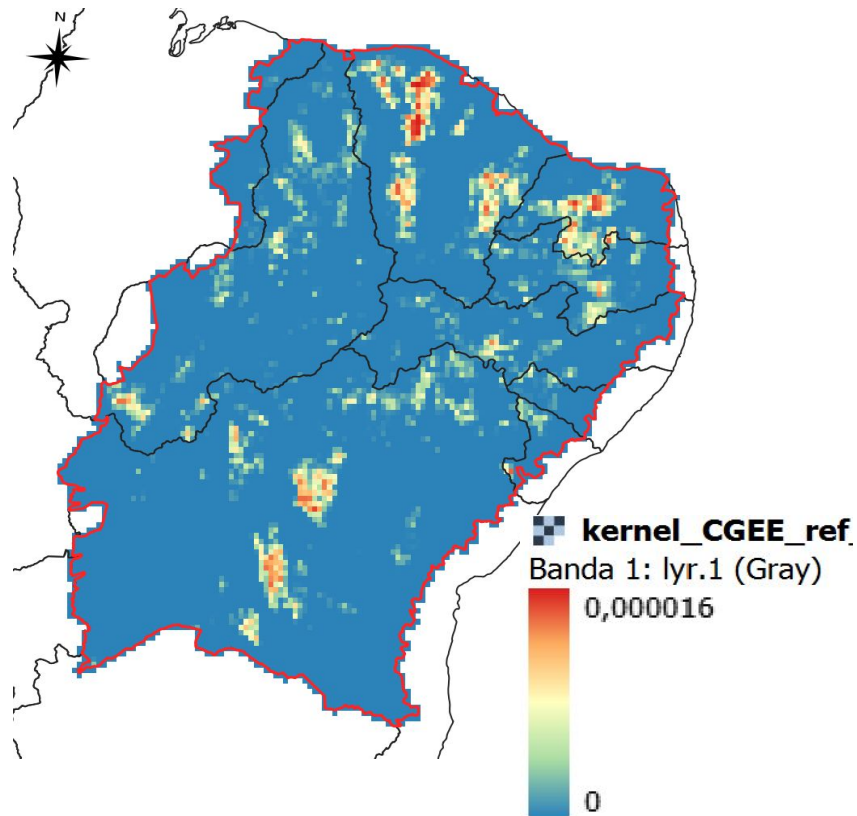
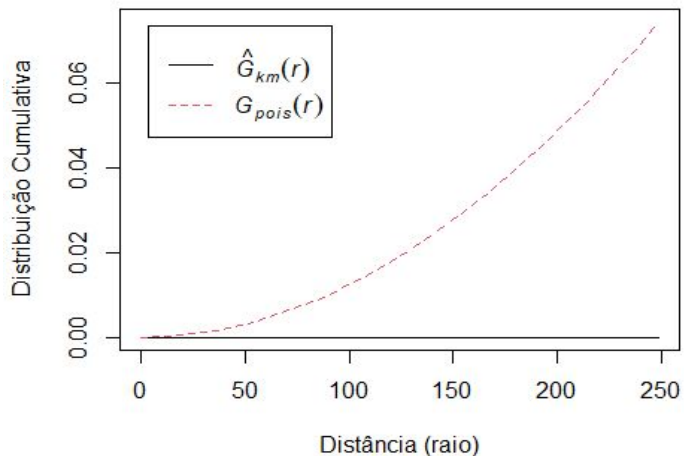
DENSIDADE DE KERNEL DOS ALARMES FALSOS

Função G - Comparação Ref e CGEE - Alarmes falsos



DENSIDADE DE KERNEL DAS FALHAS

Função G - Comparação Ref e CGEE - Falhas



COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Bezerra et al. (2020)

Quantity	Exchange	Shift	Overall
3.809631	11.928964	-6.217249e-15	15.738595

Troca: é a principal fonte de diferença em diferentes resoluções, sobretudo no pixel menor;

Quantidade de diferença: pouca variação entre as resoluções, domina em resoluções mais baixas.

Tomasella et al. (2018)

Quantity	Exchange	Shift	Overall
9.381019	4.1954072	-8.881784e-16	13.576426

Quantidade de diferença: maior variação entre as resoluções, quantidade domina em todas as resoluções;

Troca: reduz com o aumento do pixel e é menor que a quantidade;

CGEE (2016)

Quantity	Exchange	Shift
Overall		
9.693762	4.9807604	8.881784e-16
14.674523		

Quantidade de diferença: maior variação entre as resoluções, quantidade domina em todas as resoluções;

Troca: reduz com o aumento do pixel e é menor que a quantidade;

COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Bezerra et al. (2020)

Rejeições corretas: 81% dos pixels;
Falhas: 5,7% dos pixels, erros de omissão;
Alarme falso: 9,5% dos pixels, erros de comissão;
Acertos: 3,6% dos pixels.

Classe	%
1 - Acertos	5,89
2 - Alarmes falsos	16,9
3 - Falhas	10,2
4 - Rejeições corretas	67

Tomasella et al. (2018)

Rejeições corretas: 84,9% dos pixels;
Falhas: 1,9% dos pixels, erros de omissão;
Alarme falso: 1,3% dos pixels, erros de comissão;
Acertos: 1,8% dos pixels.

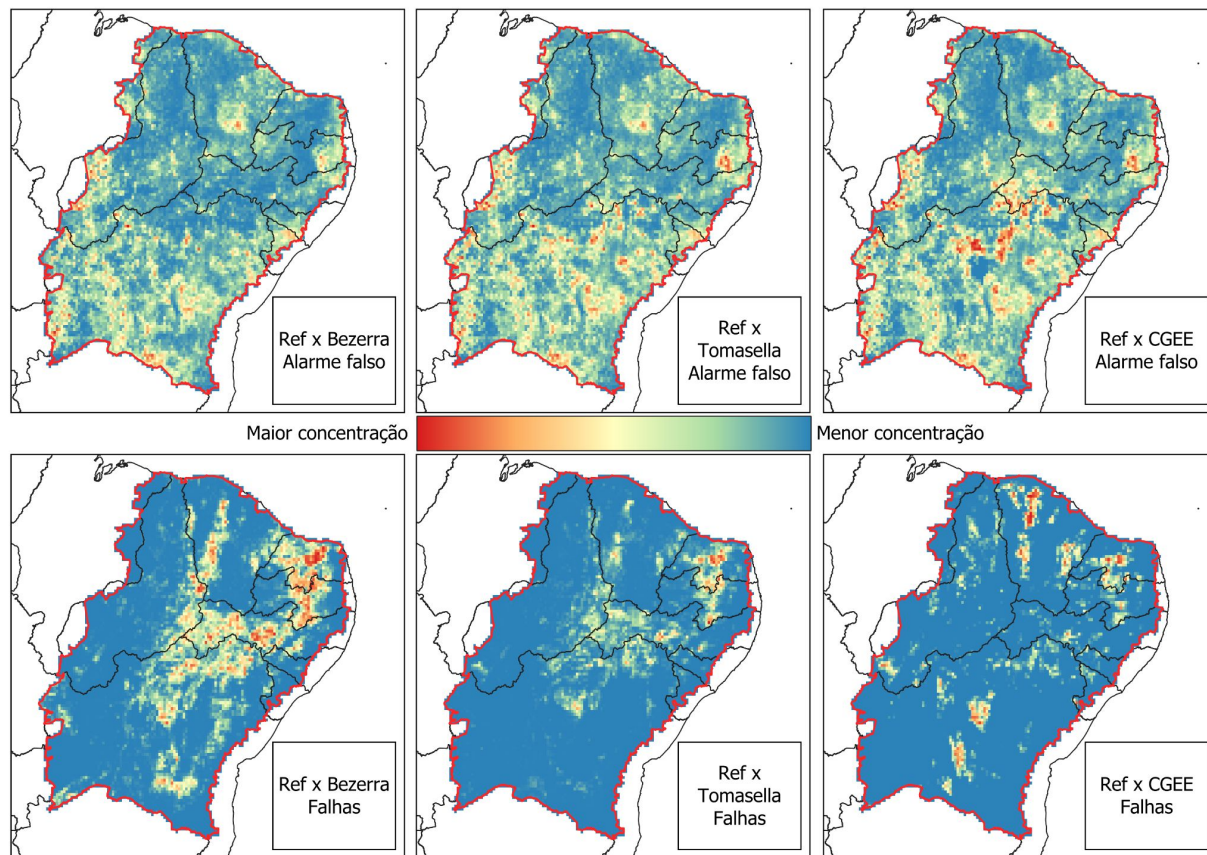
Classe	%
1 - Acertos	2,95
2 - Alarmes falsos	19,83
3 - Falhas	3,6
4 - Rejeições corretas	73,63

CGEE (2016)

Rejeições corretas: 84,3% dos pixels;
Falhas: 2,4% dos pixels, erros de omissão;
Alarme falso: 12,2% dos pixels, erros de comissão;
Acertos: 1% dos pixels.

Classe	%
1 - Acertos	1,74
2 - Alarmes falsos	21,04
3 - Falhas	4,28
4 - Rejeições corretas	72,94

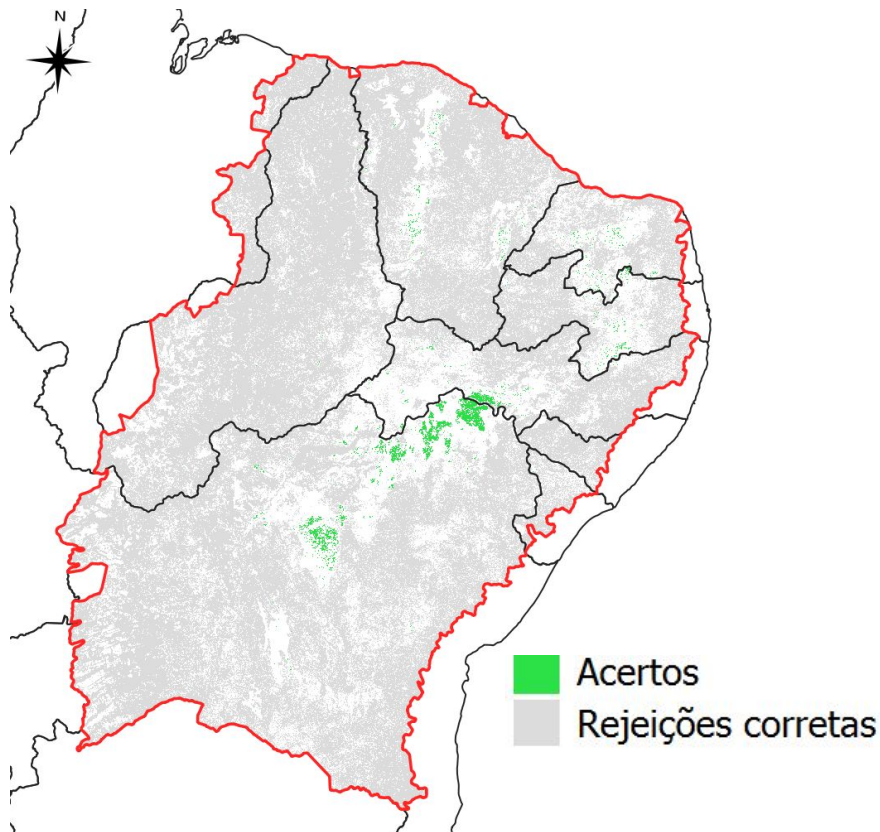
COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS



COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Regiões com Acertos e
Rejeições corretas nos 4
estudos:

Classe	Área (km ²)	%
Acertos	9341,927	0,84
Rejeições corretas	709996,3	64,1



CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A troca é a principal fonte de diferença na comparação da referência com Bezerra et al. (2020), enquanto que nos estudos de Tomasella et al. (2018) e CGEE (2016) é a quantidade de diferença (categorias);
- A diferença geral diminui com o aumento do pixel, indicando que a redução da resolução pode diminuir as diferenças entre os mapeamentos de degradação;
- O estudo de Bezerra et al. (2020) está mais próximo da referência comparando Acertos e Alarmes falsos, enquanto que o estudo de Tomasella et al. (2018) está mais aproximado da referência comparando falhas e rejeições corretas, tanto pelas métricas de diferença, quanto pela análise de densidade de kernel;
- A região norte da Bahia é a que possui maiores acertos comparando todos os 4 estudos;
- As diferenças metodológicas entre os estudos contribuem para as divergências, principalmente no caso do CGEE (2016).

REFERÊNCIAS

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. Aplicação de Métodos Estatísticos Espaciais para Análise de Dados Geográficos. AULA 1 - Análise de Padrão de Distribuição de Pontos. Aula da disciplina.

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). <https://doi.org/10.1038/s41597-024-02956-3>

REFERÊNCIAS

Javier Tomasella, Rita M. Silva Pinto Vieira, Alexandre A. Barbosa, Daniel A. Rodriguez, Marcos de Oliveira Santana, Marcelo F. Sestini, 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>.

OPENAI. ChatGPT (Dez. 2024). Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 09 dez. 2024.

Pontius Jr., Robert Gilmore; Santacruz, Ali. diffeR: Metrics of Difference for Comparing Pairs of Maps or Pairs of Variables. 2023. Link: <https://rdr.io/cran/diffeR/#vignettes>.

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

REFERÊNCIAS

Pontius Jr., Robert Gilmore; Santacruz, Alí. 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, Luiz. Resolução espacial x escala. 2009. Link: <https://geotecnologias.wordpress.com/2009/09/19/resolucao-espacial-vs-escala/>

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., and 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.