

1. Introducción

La fragmentación del paisaje es uno de los procesos más críticos que afectan la viabilidad de los ecosistemas y de las especies que dependen de ellos. En ambientes semiáridos como la Caatinga, este fenómeno adquiere especial relevancia, ya que la deforestación altera drásticamente tanto la cantidad de hábitat como la estructura espacial de los paisajes, generando profundos impactos sobre la biodiversidad (Andrén, 1994; Laurance et al., 2011). Si bien algunos autores sostienen que la cantidad de hábitat es el principal predictor de la riqueza biológica (Fahrig, 2013, 2017), otros han señalado que la configuración espacial y la fragmentación también desempeñan un papel clave en la persistencia de poblaciones y comunidades (Hanski, 2015; Lindgren y Cousins, 2011). En este sentido, las descripciones cuantitativas de paisajes amenazados resultan esenciales para comprender cómo los cambios antropogénicos repercuten en la biodiversidad y para diseñar medidas efectivas de conservación.

El Parque Nacional da Serra da Capivara, en el estado de Piauí (Brasil), protege cerca de 129.000 ha y constituye un núcleo fundamental de conservación dentro de la Caatinga (Antongiovanni et al. 2018), bioma que originalmente abarcaba más de 826.000 km² pero que hoy ha perdido aproximadamente la mitad de su cobertura vegetal por la expansión agropecuaria, la extracción de leña y la desertificación (Alves et al., 2009; Marinho et al., 2016). Aunque la reserva mantiene poblaciones de especies emblemáticas y en riesgo, como el tatu-bola (*Tolypeutes tricinctus*) o el jaguar (*Panthera onca*), su entorno inmediato enfrenta intensas presiones que incrementan la fragmentación, reducen el área núcleo disponible y amplifican los efectos de borde. Esto limita la movilidad de la fauna de gran porte y compromete la viabilidad de procesos ecológicos a escala regional.

En este contexto surge la pregunta central de este trabajo: ¿cómo varían las métricas de fragmentación del paisaje en el Parque Nacional da Serra da Capivara y su área de influencia, y en qué medida estas diferencias reflejan procesos de pérdida y aislamiento de hábitat? Se plantea la hipótesis de que los paisajes caracterizados por un mayor número de parches pequeños y elevada densidad de borde presentan un mayor grado de fragmentación, mientras que aquellos con parches de mayor tamaño, mayor área núcleo y mayor tamaño efectivo de malla mantienen una configuración espacial más conectada y menos fragmentada.

2. Metodología

El área de estudio comprende una extensión de 5.287,93 km², que incluye los límites del Parque Nacional Serra da Capivara (Piauí, Brasil) y un buffer de 20 km en su entorno (**Figura 1**). Esta delimitación buscó abarcar no solo el núcleo protegido, sino también la matriz circundante, en la cual se concentran procesos antrópicos que influyen en la fragmentación del hábitat. Para la identificación de los parches de hábitat se utilizaron los mapas globales de cobertura arbórea desarrollados por Potapov et al. (2021), disponibles a una resolución espacial de 30 m. La clasificación se redujo a dos categorías principales: bosque ($\geq 30\%$ de cobertura arbórea) y no bosque, lo que permitió extraer los fragmentos boscosos como base para los análisis posteriores. Estos fragmentos, que en adelante se consideran parches de hábitat, incluyen desde áreas de bosque continuo hasta pequeños remanentes aislados inmersos en la matriz.

Con el objetivo de caracterizar la estructura y configuración del paisaje, se calcularon métricas de fragmentación tanto a nivel de parche como de paisaje. Con el fin de minimizar sesgos en los cálculos, se estableció un umbral mínimo de 100 ha para considerar un fragmento como nodo válido en los análisis. Asimismo, se aplicó una distancia de borde de 500 m para el cálculo de áreas núcleo, de modo que se excluyeran zonas periféricas fuertemente influenciadas por el contacto con la matriz no boscosa. Todos los cálculos y visualizaciones fueron realizados en el entorno de programación R, empleando principalmente el paquete *Makurhini* (Godínez-Gómez et al. 2025), que permite estimar métricas de conectividad y fragmentación de hábitat. La integración de estas métricas permitió evaluar la disponibilidad de hábitat boscoso en la región, la configuración espacial de los fragmentos y el grado de fragmentación al que se encuentra sometido el paisaje de la Caatinga en el Parque Nacional Serra da Capivara.

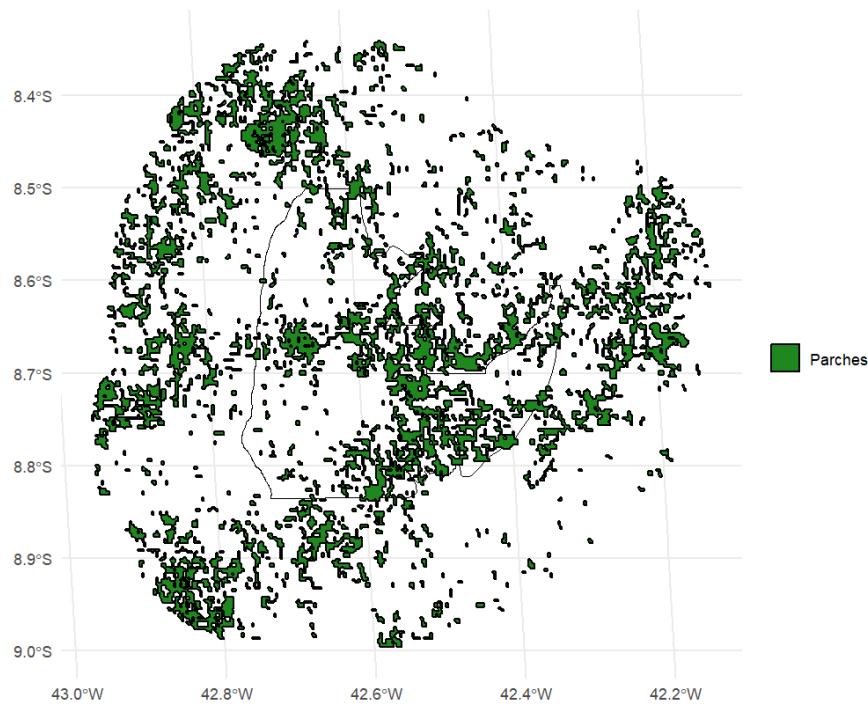


Figura 1. Distribución espacial de los parches de vegetación en el Parque Nacional da Serra da Capivara (Brasil).

2.1. Métricas a nivel de parche

La caracterización fina de cada fragmento de vegetación se realizó con un conjunto de descriptores geométricos y funcionales. En primer lugar, se midieron la longitud del contorno (*shape length*) y el perímetro de cada polígono, como aproximaciones complementarias del desarrollo del borde. Estas medidas se interpretaron junto con el área del fragmento (*shape area*), permitiendo distinguir parches grandes y compactos de otros más pequeños y alargados, típicamente más expuestos a la matriz. Para evaluar la porción de hábitat menos influida por el borde se estimó el área núcleo y su porcentaje respecto del parche (*core area* y *core area percent*), a partir de una profundidad de borde de 500 m (parámetro *edge_distance* = 500). Así, cada parche se descompuso en superficie de borde y superficie interior, lo que facilita identificar remanentes con mayor calidad estructural.

La complejidad de la forma se analizó con el índice de forma (*shape index*) y la dimensión fractal (FRAC). El primero resume la compacidad del parche (valores cercanos a 1 indican formas simples y compactas), mientras que FRAC capta la irregularidad del contorno. Adicionalmente, la relación perímetro-área (PARA) brindó una medida intensiva de exposición a borde: a igual superficie, un perímetro más largo implica valores mayores de PARA y, por ende, mayor vulnerabilidad a procesos de borde. Por último, se incluyó el porcentaje de borde del parche (*edge percent*), que expresa qué parte de la superficie queda dentro de la franja de 500 m desde el límite. En conjunto, estas métricas permiten discriminar fragmentos con alta proporción de núcleo y formas compactas, más favorables para especies sensibles a borde, de aquellos dominados por borde y geometrías complejas.

2.2. Métricas a nivel de paisaje

A escala de todo el paisaje se integraron los resultados de los parches para describir el grado de fragmentación global. La superficie total de hábitat (*patch area*) y el número de parches sintetizan la cantidad disponible de bosque y su nivel de subdivisión, mientras que el tamaño medio (*mean size*) ofrece una medida de tendencia central que facilita comparaciones entre unidades con diferente conteo de parches. La longitud de borde total (*total edge*) y su densidad (*edge density*, borde por unidad de área) permiten estandarizar la exposición a borde y comparar paisajes de distinta extensión. En paralelo, la superficie núcleo total (*total core area*), calculada con la misma profundidad de 500 m, resume la cantidad de hábitat interior disponible; sobre esta base, el *Cority* expresa la proporción de parches que conservan núcleo respecto del total, indicador sensible al predominio de remanentes pequeños o elongados.

Para capturar la geometría promedio del mosaico se reportaron el índice de forma medio (*shape index*) y la FRAC media, que reflejan, respectivamente, la compacidad y la complejidad del conjunto de parches. Finalmente, se calculó el tamaño efectivo de malla (MESH, ha), métrica integradora que se interpreta como el grado en que el movimiento entre diferentes partes del paisaje se ve interrumpido valores altos indican baja fragmentación (malla gruesa) y valores bajos reflejan alta fragmentación (malla fina). Esta métrica se espacializó sobre una grilla de 10 km².

3. Resultados

3.1. Métricas a nivel de parche

El análisis permitió identificar los fragmentos más relevantes del paisaje, considerando tanto su superficie como la proporción de área núcleo y la forma. Entre los 10 parches principales (**Fig. 2**, **Tabla 1**), destacan aquellos con mayor área y proporción de hábitat interior, aunque no necesariamente con formas compactas. El **parche 507** fue el de mayor superficie (125 301 ha), con un núcleo de 448 ha (3,6 %) (**Fig. 3**). A pesar de su gran tamaño, presenta una proporción muy alta de borde (96,4 %) (**Fig. 4**), lo que refleja que la mayor parte del fragmento se encuentra a menos de 500 m del límite. Su forma es relativamente irregular, con un índice de forma de 1,31 y una dimensión fractal de 1,32 (**Fig. 5 y 6**), valores que confirman geometría compleja y elongada. El **parche 34** también sobresale por su área (61 198 ha), con 263 ha de núcleo (4,3 %) (**Fig. 3**). Comparte el mismo patrón que el parche anterior: un porcentaje elevado de borde (95,7 %) (**Fig. 4**), aunque mantiene una proporción algo mayor de núcleo. Su índice de forma (0,82) y FRAC (1,24) indican que es más compacto que el parche 507, lo que podría favorecer su función como hábitat estable. Otros fragmentos de gran tamaño, como el **parche 966** (40 571 ha) y el **parche 402** (38 597 ha), exhiben muy poca área núcleo (42,5 ha y 21,8 ha, respectivamente) (**Fig. 3**), con porcentajes menores al 1 %. Ambos presentan valores altos de exposición a borde ($\geq 98\%$) (**Fig. 4**) y formas irregulares (índices de forma < 0,82 y FRAC en torno a 1,23–1,25) (**Fig. 5 y 6**). Estos resultados sugieren que, aunque son parches extensos, su configuración los hace más vulnerables al efecto de borde.

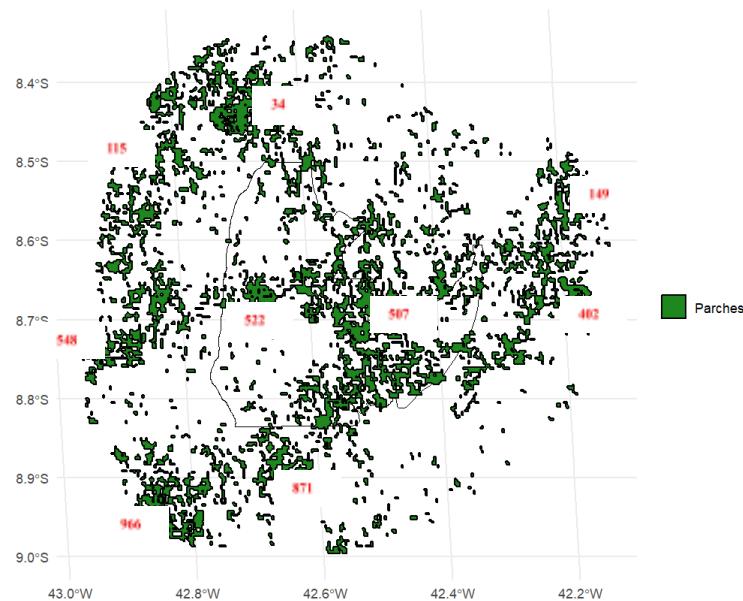


Figura 2. Ranking espacial de los 10 parches de mayor importancia en el paisaje

OBJECTID	Shape_Leng	Shape_Area	area	Area	CA	CAPercent	Perimeter	EdgePercent	PARA	ShapeIndex	FRAC
507	520987.427	125301014.2	125301014.2	12530.1014	448.3656	3.5783	520.987	96.4217	24.0507	1.3129	1.3259
966	183451.905	40571770.0	40571770.0	4057.1770	42.5579	1.0490	183.452	98.9510	22.1157	0.8125	1.2546
34	229184.951	61197510.4	61197510.4	6119.7510	263.2975	4.3024	229.185	95.6976	26.7022	0.8264	1.2466
402	165159.238	38597414.2	38597414.2	3859.7414	21.8764	0.5668	165.159	99.4332	23.3699	0.7499	1.2368
149	96636.705	19802087.8	19802087.8	1980.2088	3.4144	0.1724	96.637	99.8276	20.4912	0.6126	1.2043
522	125493.976	31212401.7	31212401.7	3121.2402	30.4880	0.9768	125.494	99.0232	24.8716	0.6337	1.2012
548	115699.845	28399201.6	28399201.6	2839.9202	20.0020	0.7043	115.700	99.2957	24.5456	0.6125	1.1950
115	77102.696	15547750.6	15547750.6	1554.7751	13.9345	0.8962	77.103	99.1038	20.1649	0.5516	1.1825
871	87816.712	20017798.5	20017798.5	2001.7799	5.8885	0.2942	87.817	99.7058	22.7949	0.5537	1.1774
518	90092.784	21243287.5	21243287.5	2124.3287	27.2066	1.2807	90.093	98.7193	23.5793	0.5514	1.1750
708	71657.589	14764872.3	14764872.3	1476.4872	13.5616	0.9185	71.658	99.0815	20.6046	0.5261	1.1708
314	63603.147	12621175.0	12621175.0	1262.1175	0.0000	0.0000	63.603	100.0000	19.8437	0.5050	1.1631
283	63819.903	13564090.4	13564090.4	1356.4090	55.2038	4.0698	63.820	95.9302	21.2537	0.4888	1.1524
23	66494.184	14830407.4	14830407.4	1483.0407	44.8085	3.0214	66.494	96.9786	22.3034	0.4871	1.1496
416	49758.140	9767350.5	9767350.5	976.7351	0.0000	0.0000	49.758	100.0000	19.6297	0.4491	1.1351
697	54376.774	13107012.4	13107012.4	1310.7012	10.9242	0.8335	54.377	99.1665	24.1040	0.4237	1.1133
754	38474.409	7256679.7	7256679.7	725.6680	0.0000	0.0000	38.474	100.0000	18.8613	0.4029	1.1082
983	37861.324	8395572.8	8395572.8	839.5573	0.0000	0.0000	37.861	100.0000	22.1747	0.3686	1.0795
487	42181.789	10375794.4	10375794.4	1037.5794	10.5069	1.0126	42.182	98.9874	24.5977	0.3694	1.0777

Tabla 1. Métricas de paisaje calculadas a nivel de parche para todos los fragmentos del área de estudio.

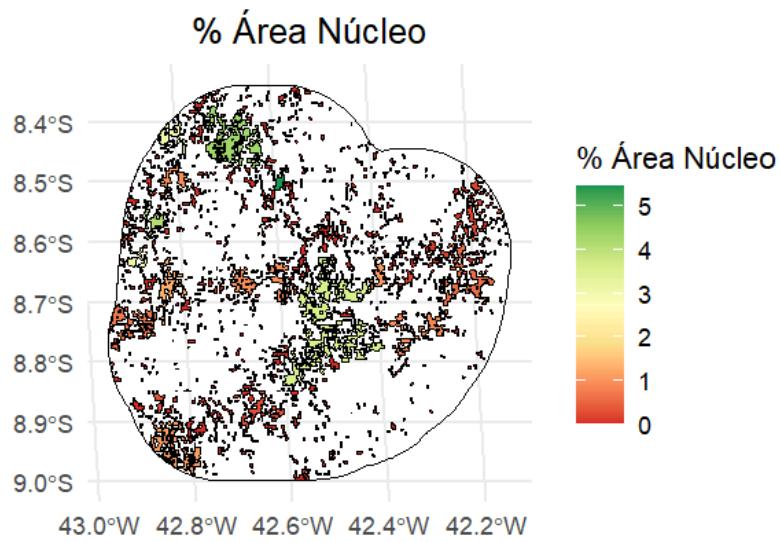


Figura 3. Distribución espacial del porcentaje de área núcleo en los fragmentos de vegetación del Parque Nacional Serra da Capivara.

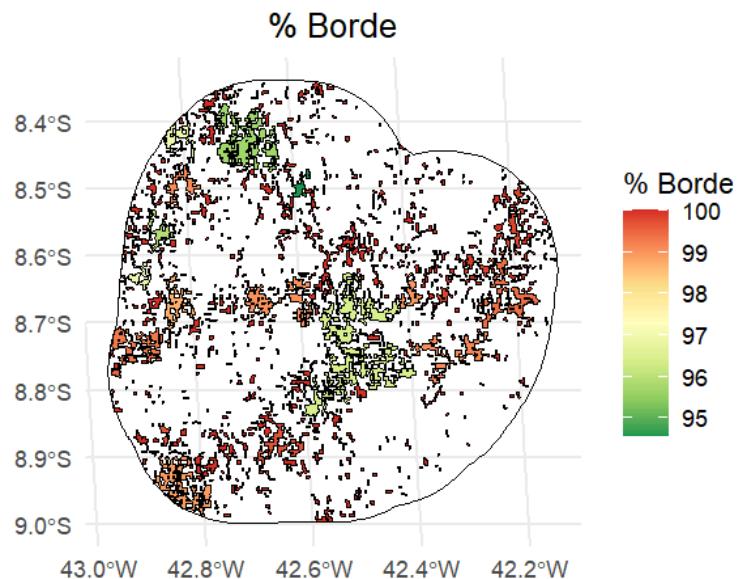


Figura 4. Distribución espacial del porcentaje de borde en los fragmentos de vegetación del Parque Nacional Serra da Capivara.

En contraste, parches medianos como el **522** (31 212 ha) y el **548** (28 399 ha) mantienen proporciones muy bajas de núcleo ($\leq 1\%$) (Fig. 3). Ambos tienen altos valores de relación perímetro-área (≥ 24) (Fig. 7), lo que indica fragmentos alargados y altamente expuestos a borde. Sus índices de forma ($\approx 0,61$ – $0,63$) y FRAC ($\approx 1,20$) refuerzan la idea de geometrías menos compactas (Fig. 5 y 6). Los parches más pequeños de este grupo, como el **115** (15 547 ha), **149** (19 802 ha) y **871** (20 017 ha), conservan núcleos muy reducidos (≤ 14 ha) (Fig. 3), que representan menos del 1 % de su superficie. Presentan también valores bajos de índice de forma ($\approx 0,55$ – $0,61$) y fractalidad cercana a 1,18 (Fig. 5 y 6), lo que refleja formas simples, pero con una gran proporción de borde ($> 99\%$) (Fig. 4). Esto sugiere que, a pesar de su relativa compacidad geométrica, su tamaño reducido limita la persistencia de hábitat interior.

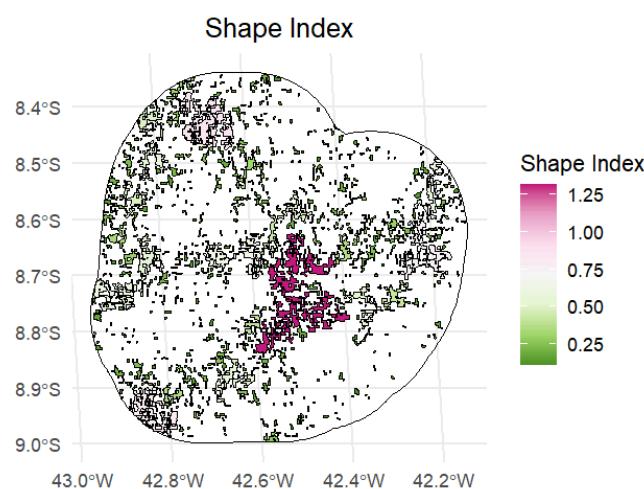


Figura 5. Distribución espacial del índice de forma en los fragmentos de vegetación del Parque Nacional Serra da Capivara.

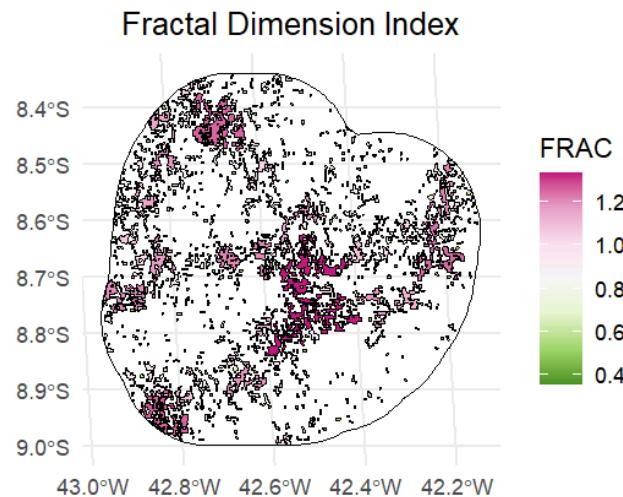


Figura 6. Distribución espacial del índice de dimensión fractal en los fragmentos de vegetación del Parque Nacional Serra da Capivara.

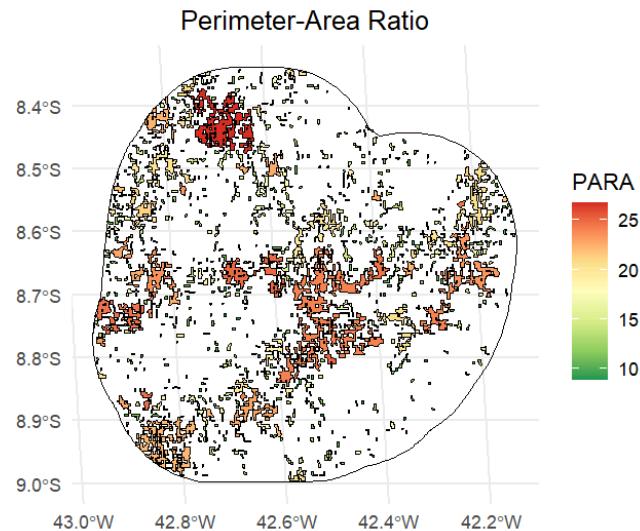


Figura 7. Distribución espacial de la relación perímetro-área en los fragmentos de vegetación del Parque Nacional Serra da Capivara.

En síntesis, los parches más grandes concentran la mayor superficie de hábitat, pero la presencia de núcleo es escasa, lo que refleja un fuerte predominio del borde en el paisaje. La mayoría de los fragmentos, incluso los de mayor tamaño, presentan formas irregulares y elongadas, lo que los hace más vulnerables a la fragmentación funcional. Solo el **parche 34** logra mantener una proporción relativamente superior de núcleo en comparación con los demás, posicionándose como un elemento clave en la conectividad del paisaje.

3.2. Métricas a nivel de paisaje

Los resultados a nivel de paisaje muestran un área total ocupada por parches de bosque de 86.670 ha, distribuidos en 683 fragmentos (**Tabla 2**). A pesar de que el número de parches es alto, la talla media de parche es baja (126,9 ha) y una proporción muy grande de ellos (582 parches, equivalentes al 85%) son menores que el tamaño mínimo definido, lo que evidencia una fuerte fragmentación y predominio de fragmentos pequeños (**Tabla 2**). En términos de configuración, el paisaje presenta un total de borde de 4.692 km, lo que, al estandarizarse por área, da una densidad de borde muy baja (0,054 km/ha). Este valor, junto con la baja densidad de parches (0,129 parches/100 ha) (**Tabla 2**), indica que los fragmentos están relativamente dispersos, pero sin una proliferación excesiva de bordes por unidad de área.

El área de núcleo total alcanza 1.073 ha (**Tabla 2**), lo que representa apenas una fracción mínima del área boscosa disponible. Este resultado, junto con el valor bajo de Cority (0,0337) (**Tabla 2**), refleja que los fragmentos conservan muy poca área interior libre de efectos de borde, lo cual es crítico para especies dependientes de hábitats de interior. Respecto a la forma, los parches muestran un índice de forma promedio (0,1588) y un FRAC medio de 0,58, lo que sugiere que la mayoría de los fragmentos tienden a formas simples o regulares, aunque sin alcanzar estructuras compactas (**Tabla 2**).

Finalmente, el Effective Mesh Size (MESH) fue de 524,8 ha (**Fig. 8, Tabla 2**), un valor bajo en comparación con el área total del paisaje. Esto significa que, en promedio, un organismo que se mueva aleatoriamente por el paisaje encontraría fragmentos efectivos de alrededor de 500 ha, lo cual refleja un alto grado de fragmentación. El hecho de que el MESH se encuentre muy por debajo del área total muestra que la conectividad estructural del bosque está fuertemente comprometida.

Metric	Value
Patch area (ha)	86670.1275
Number of patches	683.0000
Size (mean)	126.8962
Patches < minimum patch area	582.0000
Patches < minimum patch area (%)	20.1907
Total edge	4692.4460
Edge density	0.0541
Patch density	0.1292
Total Core Area (ha)	1073.9128
Cority	0.0337
Shape Index (mean)	0.1588
FRAC (mean)	0.5811
MESH (ha)	524.8658

Tabla 2. Métricas a nivel de paisaje calculadas para todos los fragmentos del área de estudio.

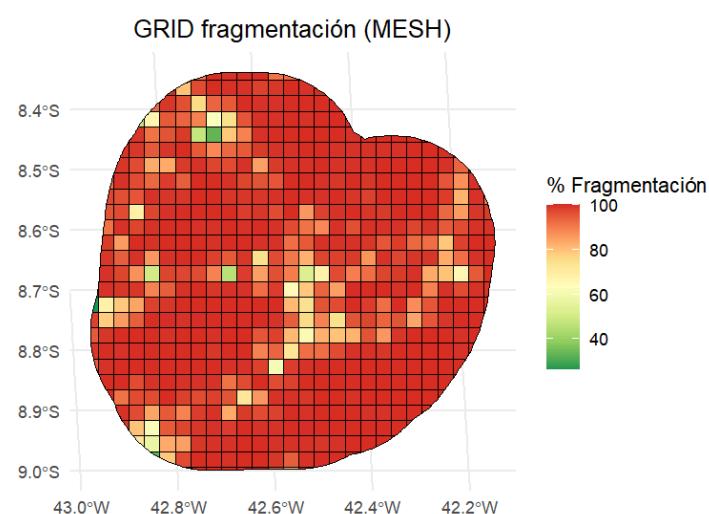


Figura 8. Índice de área efectiva de malla (MESH) calculado para los parches de bosque en el área de estudio

4. Discusión

Los patrones obtenidos para el entorno del Parque Nacional da Serra da Capivara son coherentes con un paisaje fuertemente dominado por bordes y con conectividad estructural limitada. En términos ecológicos, este escenario reduce la probabilidad de mantener poblaciones viables de especies sensibles al borde o dependientes de hábitat interior y restringe procesos como dispersión, recolonización y flujo génico. Que los parches más extensos conserven proporciones de núcleo tan pequeñas indica que su geometría elongada y la alta exposición perimetral los vuelven funcionalmente frágiles: el “tamaño efectivo” de hábitat interior es mucho menor que su área bruta. Esta lectura se refuerza a escala de paisaje por el valor bajo de MESH. Si bien la métrica puede ser alta en paisajes continuos o con pocos fragmentos grandes, aquí señala una malla ecológica muy subdividida, consistente con una probabilidad reducida de que dos puntos al azar caigan en el mismo parche funcional (Jaeger, 2000). En suma, la estructura espacial que emerge de tus métricas sugiere que el PNSC opera como un núcleo de conservación rodeado por una matriz crecientemente hostil, donde el bosque remanente persiste mayoritariamente como islas pequeñas y con fuerte efecto de borde.

Este patrón encaja con diagnósticos regionales de la Caatinga que describen un bioma altamente fragmentado, con predominio de fragmentos pequeños y cercados por usos antrópicos (Antongiovanni et al. 2018), lo que exacerba la pérdida de hábitat interior y la discontinuidad del bosque seco estacional. Estudios de síntesis para la Caatinga reportan precisamente la combinación de (i) gran número de fragmentos, (ii) baja proporción de núcleo y (iii) alta contribución de carreteras y aperturas lineales a la fragmentación, un cuadro especialmente notorio en subregiones del Piauí y del medio São Francisco, y que coincide con lo que muestran las métricas en torno al parque (Antongiovanni et al. 2022; Antongiovanni et al. 2020; Antongiovanni et al. 2018).

La relevancia de este hallazgo se amplifica en un sitio de altísimo valor patrimonial y biológico como Serra da Capivara, pero inmerso en una región donde la presión antrópica sigue activa y la cobertura de protección estricta del bioma aún es limitada. La evidencia de borde alto y núcleo escaso sugiere riesgos concretos: mayor penetración de fuego, especies exóticas/perturbadoras, cacería y microclimas más secos y calientes en el interior de los parches; todos procesos documentados como críticos en bosques secos estacionales y señalados entre las amenazas de la región. Bajo este contexto, los resultados no solo son diagnósticos, sino que señalan acciones: (1) restauración focalizada para “engrosar” los parches con mayor potencial de núcleo, (2) control y manejo de bordes en parches alargados con PARA elevado, (3) protección y recuperación de corredores riparios que pueden sostener movimientos de fauna de gran porte entre remanentes, y (4) gestión de la matriz. En términos de planificación, esto se alinea con el mandato de conservar valores universales excepcionales del sitio, integrando objetivos de conectividad y reducción de amenazas en la zona de amortiguamiento.

Desde el punto de vista metodológico, conviene interpretar con cautela algunos supuestos que acotan el alcance de las inferencias. Primero, el paisaje fue binarizado como bosque/no bosque a 30 m y con umbral de cobertura ($\geq 30\%$), lo cual puede subestimar formaciones abiertas típicas de Caatinga que funcionan como hábitat para parte de la fauna; así, la “pérdida” de hábitat interior podría estar sobreestimada para especies tolerantes a ambientes más abiertos. Segundo, el núcleo se definió con un borde de 500 m; distintos grupos taxonómicos perciben el borde a profundidades diferentes, por lo que cambiar este parámetro alteraría *Cority* y el área de núcleo. Tercero, la conectividad inferida es estructural; no se modeló resistencia de la matriz ni movimiento efectivo, de modo que la conectividad funcional podría diferir, ser mejor para especies generalistas o peor para especialistas de interior. Finalmente, el análisis es sincrónico; una serie temporal permitiría discutir tendencias y la eficacia de intervenciones. Aun con estas limitaciones, las métricas convergen en un diagnóstico robusto: el PNNSC y su entorno inmediato presentan una configuración insularizada, con alta exposición a borde y baja continuidad efectiva del hábitat, consistente con evaluaciones regionales de la Caatinga y con la teoría de la fragmentación que anticipa caída de funciones ecológicas cuando la malla de hábitat se subdivide en muchas unidades pequeñas.

5. Conclusión

El análisis de métricas a nivel de parche y de paisaje revela que la vegetación del Parque Nacional da Serra da Capivara enfrenta un patrón de fragmentación característico de los bosques secos tropicales de la Caatinga. A escala de parche, los valores de perímetro, área central y relaciones perímetro-área evidencian una alta proporción de bordes y formas irregulares, lo que incrementa la vulnerabilidad de los fragmentos a efectos de borde y reduce la disponibilidad de hábitat núcleo. A nivel de paisaje, la elevada densidad de bordes, la disminución del tamaño medio de los parches y los valores de conectividad reflejan un mosaico fragmentado donde la integridad ecológica se encuentra comprometida. Estos hallazgos coinciden con estudios previos en ecosistemas secos neotropicales y refuerzan la necesidad de estrategias de conservación orientadas a minimizar la pérdida adicional de cobertura vegetal y restaurar la conectividad funcional entre fragmentos.

En este contexto, el manejo del paisaje en el Parque debe priorizar acciones que reduzcan la presión antrópica sobre los bordes, fomenten la regeneración natural en áreas degradadas y fortalezcan los corredores ecológicos, garantizando así la persistencia de procesos ecológicos clave y la provisión de servicios ecosistémicos. En suma, la fragmentación observada no solo refleja las dinámicas históricas de uso del suelo en la región, sino que plantea retos urgentes para la conservación de uno de los ecosistemas más amenazados y menos protegidos de Brasil.

6. Referencias

- Alves, R.R.N., Mendonca, L.E.T., Confessor, M.V.A., Vieira, W.L.S., Lopes, L.C.S. (2009) Hunting strategies used in the semi-arid region of northeastern Brazil. *J Ethnobiol Ethnomed* 5, 12. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-5-12>
- Andrén, H. (1994). Effects of Habitat Fragmentation on Birds and Mammals in Landscapes with Different Proportions of Suitable Habitat: A Review. *Oikos*, 71(3), 355–366. <https://doi.org/10.2307/3545823>
- Antongiovanni, M., Venticinque, E. M., & Fonseca, C. R. (2018). Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. *Landscape Ecology*, 33(8), 1353-1367. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0672-6>
- Antongiovanni, M., Venticinque, E. M., Matsumoto, M., & Fonseca, C. R. (2020). Chronic anthropogenic disturbance on Caatinga dry forest fragments. *Journal of Applied Ecology*, 57(10), 2064-2074. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13686>
- Antongiovanni, M., Venticinque, E. M., Tambosi, L. R., Matsumoto, M., Metzger, J. P., & Fonseca, C. R. (2022). Restoration priorities for Caatinga dry forests: Landscape resilience, connectivity and biodiversity value. *Journal of Applied Ecology*, 59(9), 2287-2298. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14131>
- Fahrig, L. (2013). Rethinking patch size and isolation effects: the habitat amount hypothesis. *Journal of biogeography*, 40(9), 1649-1663. <https://doi.org/10.1111/jbi.12130>
- Fahrig, L. (2017). Ecological responses to habitat fragmentation per se. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 48, 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022612>
- Godínez-Gómez, O., Correa-Ayram, C., Goicoechea, T., & Saura, S. (2025). Makurhini: An R package for comprehensive analysis of landscape fragmentation and connectivity. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6398746/v1>
- Hanski, I. (2015). Habitat fragmentation and species richness. *Journal of Biogeography*, 42(5), 989-993. <https://doi.org/10.1111/jbi.12478>
- Jaeger, J.A. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology* 15, 115-130 (2000). <https://doi.org/10.1023/A:1008129329289>
- Laurance, W.F., Camargo, J.L., Luizao, R.C., Laurance, S.G., Pimm, S.L., Bruna, E.M., Stouffer, P.C., Williamson, G.B., Benítez-Malvido, J., Vasconcelos, H.L., Van Houtan, K.S., Zartman, C.E., Boyle, S.A., Didham, R.K., Andrade, A., Lovejoy, T.E. (2011). The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. *Biol Conserv*, 144(1), 56 -67. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.09.021>
- Lindgren, J. P., & Cousins, S. A. (2017). Island biogeography theory outweighs habitat amount hypothesis in predicting plant species richness in small grassland remnants. *Landscape Ecology*, 32(9), 1895-1906. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0544-5>
- Marinho, F. P., Mazzochini, G. G., Manhães, A. P., Weisser, W. W., & Ganade, G. (2016). Effects of past and present land use on vegetation cover and regeneration in a tropical dryland forest. *Journal of Arid Environments*, 132, 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.04.006>