

Parque Nacional da Serra da Capivara: fragmentación y conectividad

Introducción

La Caatinga es el mayor bosque tropical estacionalmente seco (SDTF) de Sudamérica, con una extensión cercana a 1 millón de km², y conforma un mosaico de bosques secos, matorrales y herbazales adaptados a condiciones semiáridas. Es un bioma exclusivo de Brasil y de alta singularidad biológica: alberga alrededor de 3000 especies de plantas vasculares (cerca de un tercio endémicas) y aproximadamente 1700 especies de árboles y arbustos, con más de 300 endemismos (da Silva et al., 2018; Castanho et al., 2020).

Pese a esta riqueza, la Caatinga se encuentra fuertemente fragmentada y marginalmente protegida. Diversos diagnósticos señalan que solo ~1–2% del bioma está bajo protección efectiva, convirtiéndolo en uno de los ecosistemas menos resguardados de Brasil. A la vez, más de la mitad de su superficie ha sido transformada por deforestación, agricultura de subsistencia, ganadería y extracción de madera/leña, procesos que alteran la configuración del paisaje, incrementan los efectos de borde y amenazan la biodiversidad (Arnan et al., 2018; Câmara et al., 2018; Barros et al., 2020; da Silva et al., 2018; E. M. S. Ribeiro et al., 2019; Freire-Filho & Palmeirim, 2020; J. R. Ribeiro et al., 2021; Salomão et al., 2024).

Bajo este panorama, la conectividad ecológica se vuelve esencial para sostener funciones clave, como dispersión, interacciones tróficas (e.g., depredación) y resiliencia frente a disturbios, y, por tanto, para la persistencia de poblaciones en paisajes fragmentados. En la Caatinga, el diseño de redes de restauración y corredores apoyado en resiliencia del paisaje, conectividad funcional y valor de conservación permitió identificar áreas prioritarias costo-efectivas para acciones restaurativas (Fonseca et al., 2018; Antongiovanni et al., 2022). Desde la planificación nacional se han definido 282 áreas prioritarias que agrupan 691 objetivos de conservación (incluyendo 31 mamíferos, además de reptiles, aves, anfibios, peces y plantas amenazadas), aunque la cobertura formal de áreas protegidas sigue siendo insuficiente para muchas especies: por ejemplo, en aves endémicas con nichos muy específicos, solo ~9% del bioma queda abarcado por AP y su persistencia futura dependería de conservar remanentes y establecer corredores (Fonseca et al., 2018; Freire-Filho & Palmeirim, 2020; J. R. Ribeiro et al., 2021; Antongiovanni et al., 2022; Gonçalves et al., 2023; Salomão et al., 2024).

Dentro de este bioma, el Parque Nacional da Serra da Capivara (PNSC), en el sudeste de Piauí, concentra un patrimonio arqueológico excepcional y constituye un núcleo de Caatinga de alta integridad relativa. Creado en 1979 y reconocido como Patrimonio Mundial (UNESCO) desde 1991, el área protegida abarca aproximadamente 129.000 ha y es gestionada por IPHAN en articulación con ICMBio y actores locales. Su ubicación y extensión lo convierten en una pieza crítica para la conservación de la biodiversidad de la Caatinga y para el mantenimiento de flujos ecológicos a escala regional.

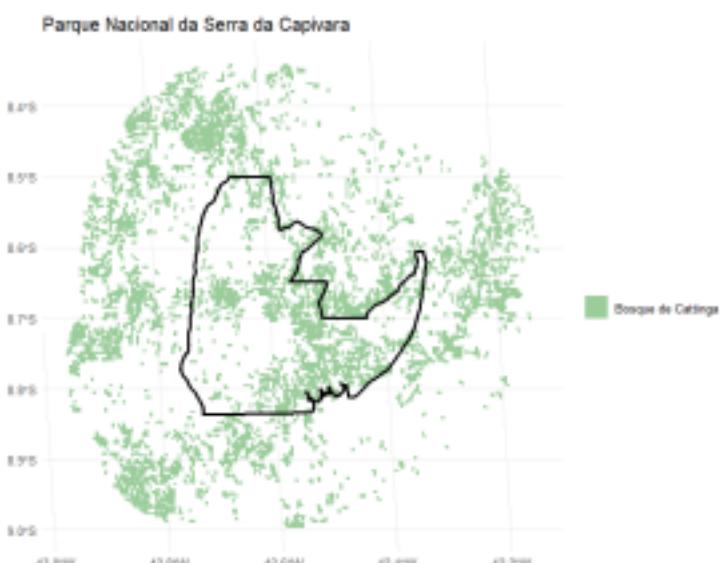


Figura 1. Área de análisis

En este contexto, en el presente documento se analiza el estado de fragmentación y la conectividad en un paisaje de Caatinga del nordeste de Brasil que incluye el PNSC, con énfasis en grandes mamíferos como mediadores de procesos ecológicos. Para ello se integraron métricas de fragmentación con índices de conectividad a fin de identificar núcleos, conectores y prioridades de restauración en un entorno con baja protección efectiva y altas presiones antrópicas. Esta aproximación busca aportar insumos prácticos para la planificación del manejo dentro del área protegida y en su matriz circundante, maximizando la eficiencia de las medidas de conservación y restauración en un paisaje altamente fragmentado.

Metodología

Área de estudio

El trabajo se desarrolla en el Parque Nacional Serra da Capivara (Piauí, nordeste de Brasil; Figura 1), un área protegida de 100.764,19 ha con un perímetro superior a 200 km que abarca los municipios de São Raimundo Nonato, Coronel José Dias, Brejo do Piauí y João Costa (ICMBio, 2025). La matriz vegetal corresponde principalmente a Caatinga arbórea densa con elementos arbustivos sobre suelos arenosos compactos; en los afloramientos rocosos predominan arbustos, cactáceas y bromeliáceas. Los bordes de las chapadas conforman acantilados que originan grandes cañones (“Boqueirões”), donde la vegetación es mesofítica semidecidua, de dosel alto y cerrado (Lemos, 2004). El parque carece de cuerpos de agua naturales; la administración mantiene canales y estanques artificiales para abastecimiento de fauna (ICMBio, 2025).

A escala regional, el PNSC es el punto de partida del Corredor Ecológico Capivara–Confusões (creado en 2005), que enlaza con el Parque Nacional Serra das Confusões a ~50 km, cubriendo aproximadamente 412.000 ha. Su objetivo es favorecer el flujo de plantas y animales, mejorar la conectividad funcional y facilitar la dispersión entre ambos núcleos de conservación (Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2005).

Bases de Datos

Se trabajó con datos geoespaciales provistos por los responsables del curso, que incluyen la configuración del paisaje y los fragmentos de bosque de Caatinga en el ámbito del Parque Nacional Serra da Capivara y su entorno inmediato. Con estos insumos se realizaron análisis espaciales de conectividad orientados a mamíferos con una distancia media de dispersión de 10 km, evaluando la estructura del mosaico de hábitats y la capacidad potencial de intercambio entre parches.

Análisis de Datos

1) Fragmentación (MK_Fragmentation)

Para el paisaje de Serra da Capivara (bioma Caatinga) adoptamos un edge distance de 500 m, equilibrando la escala ecológica de las especies focales con la estructura física del territorio (Haddad et al., 2015; Cushman & McGarigal, 2008):

- Escala de movimiento de mastofauna. El ensamble dominante (roedores medianos, marsupiales, zorros y otros mesocarnívoros) presenta desplazamientos diarios/de forrajeo de decenas a pocos cientos de metros; los cruces ocasionales superan ese rango. Un umbral de 500 m permite considerar como continuo el hábitat separado por brechas cortas que pueden salvar funcionalmente, sin “fusionar” parches por movimientos raros o estrictamente dispersivos (Cushman & McGarigal, 2008).
- Permeabilidad de la matriz y relieve. Discontinuidades <500 m se comportan como “microgrietas” en un continuo potencial (corredores riparios, depresiones), reduciendo la sobre-segmentación por artefactos cartográficos y particiones locales (Cushman & McGarigal, 2008).
- Coherencia con el objetivo. Valores 100–250 m sobrerrepresentan roturas finas; ≥1 km tienden a unir unidades ecológicamente distinguibles (Haddad et al., 2015).

- Robustez analítica. Ensayos 100–1000 m indicaron que 500 m estabiliza métricas (número de fragmentos, tamaño medio, bordes) y evita la “hiperfusión” de parches (Cushman & McGarigal, 2008).

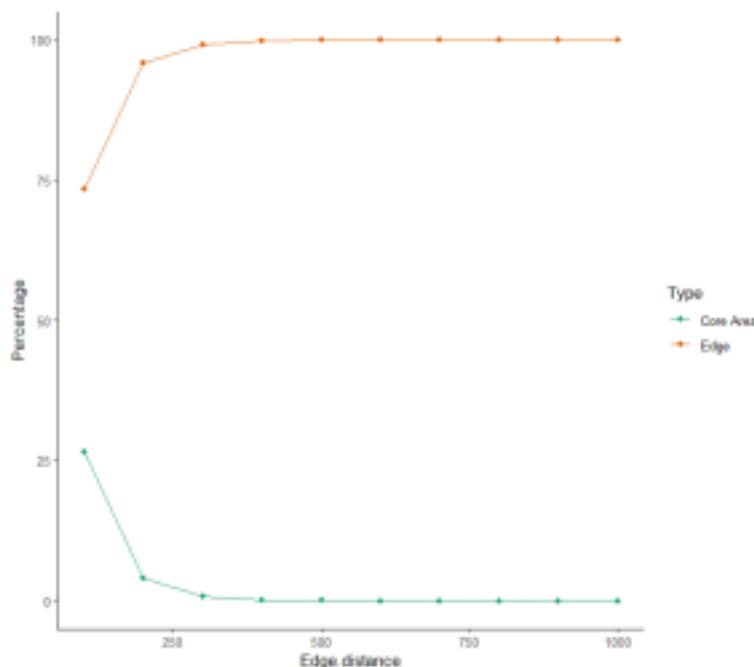


Figura 2. Variación del tamaño de borde preestablecido.

2) Conectividad estructural–funcional (IIC y PC)

Se calculó el IIC (Integral Index of Connectivity) y PC (Probability of Connectivity) para todo el paisaje, identificando parches con mayor aporte relativo (dIIC, dPC) y la estructura de la red (nodos, puentes y subredes) (Saura & Pascual-Hortal, 2007; Godínez-Gómez et al., 2025).

Parámetros: distancias euclidianas (type = "edge"), probabilidad de conexión = 0,5 y umbral de dispersión = 10 km. Parámetros comunes: distancias euclidianas entre parches (type = "edge"), probabilidad de conexión = 0,5 y umbral de dispersión = 10.000 m (10 km), coherentes con especies de mediana movilidad en Caatinga.

3) ECA / EC(PC): Área Equivalente Conectada

Además de PC, se reporta el ECA (Equivalent Connected Area, implementada como EC(PC)), que traduce la conectividad a unidades de área equivalentes a un único parche perfectamente conectado, facilitando la comparación absoluta entre escenarios (Saura & Rubio, 2010).

4) Escenario de restauración focal (parches ≥ 1.000 ha)

Se modela un escenario que prioriza fragmentos grandes creando el campo a1000ha (1 si área ≥ 1.000 ha, 0 si no). Con MK_dPCIIC() configurada para PC (0,5; 10 km; edge), comparamos estado actual vs. restaurado (restoration = "a1000ha", onlyrestor = FALSE) y reportamos PC, EC(PC) y fracciones de restauración (dPCres, dPCresIntra, dPCresFlux, dPCresConnector), incluido % dPCres para priorización (Godínez-Gómez et al., 2025; Saura & Rubio, 2010).

5) Conectividad de áreas protegidas: ProtConn (MK_ProtConn)

Para evaluar qué fracción del territorio protegido está conectada, empleamos MK_ProtConn con nodos protegidos definidos como la intersección entre parches y el polígono del Parque Nacional Serra da Capivara; la región de evaluación fue el área de estudio. Mantuvimos parámetros consistentes con IIC/PC (0,5; 10 km; edge) y, cuando fue pertinente, exploramos ProtConn-Bound y ΔProtConn para priorizar unidades (Godínez-Gómez et al., 2025).

Resultados

Métricas de Fragmentación a nivel de paisaje (Figura 3)

La superficie total analizada alcanzó 86670 ha, dentro de la cual se identificaron 683 fragmentos, de los cuales más de 580 corresponden a superficies menores al área mínima considerada, representando un 20% del total. El tamaño medio de los fragmentos fue de 126.9 ha, aunque dominan parches mucho más pequeños. El total de perímetro registrado superó los 4690 km, con una densidad de bordes de 0.054 y una densidad de parches de 0.129. El área núcleo disponible fue reducida (1073 ha), equivalente a apenas un 1.2% del paisaje, reflejando una alta proporción de borde. En consecuencia, el índice MESH alcanzó apenas 524.8 ha, confirmando la disminución del tamaño efectivo de hábitat continuo. Los valores medios de forma (0.1588) y dimensión fractal (0.5811) refuerzan la evidencia de que predominan parches elongados, sinuosos e irregulares, lo cual intensifica los efectos de borde.

El cálculo del MESH local evidencia que la mayor parte del área presenta niveles de fragmentación muy altos (colores rojos), con pocos sectores puntuales en tonos amarillos o verdes, lo que indica que solo en áreas muy localizadas se conserva una conectividad estructural relativamente mayor. Estos sectores podrían representar refugios clave para especies sensibles al borde.

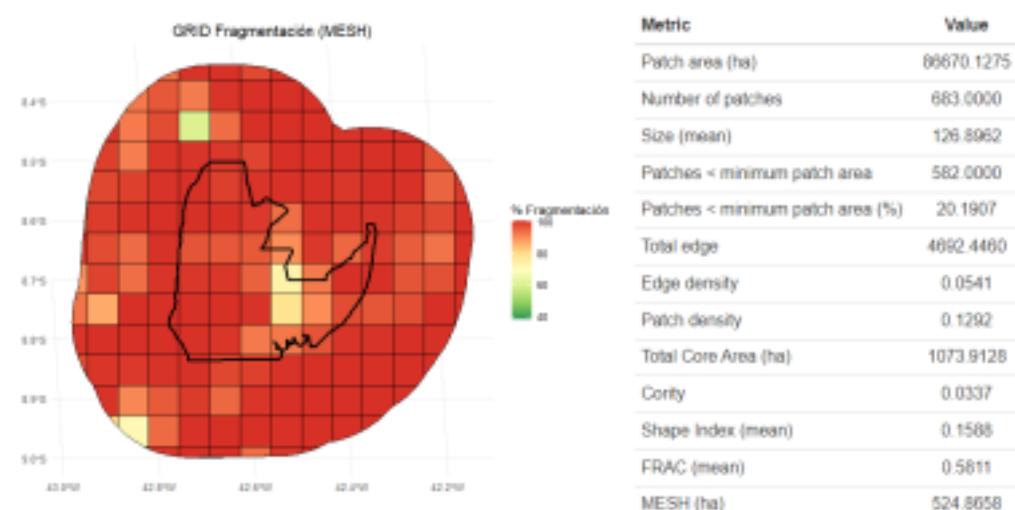
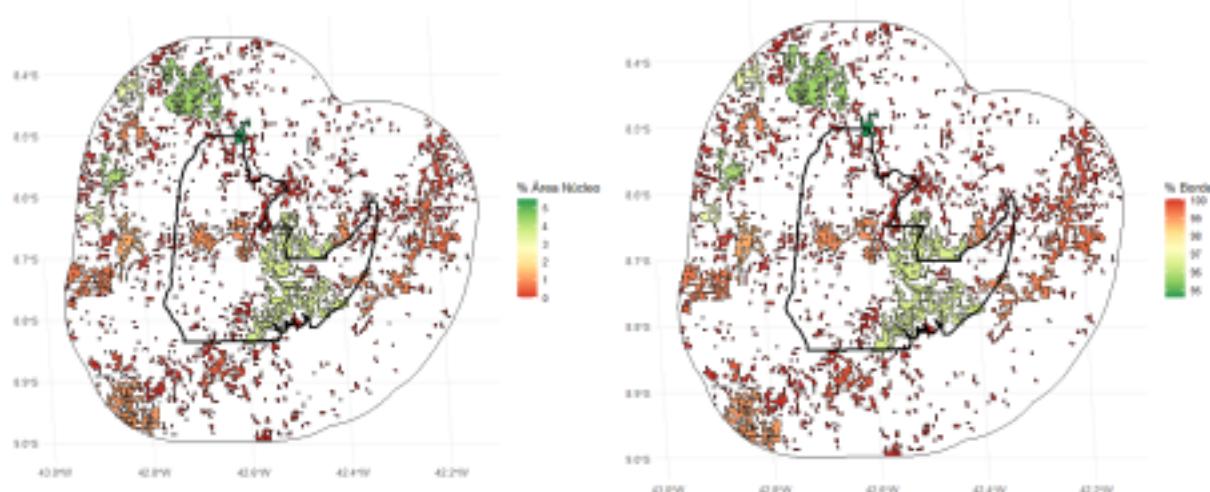


Figura 3. Métricas de fragmentación a nivel paisaje. El contorno del área protegida se presenta en color negro. **Métricas a nivel de parche (Figura 4)**

La visualización espacial evidencia que la mayor parte de los parches presentan porcentajes de borde superiores al 95%, con áreas núcleo prácticamente nulas en la mayoría de los casos. Solo unos pocos fragmentos localizados hacia el sector norte concentran valores relativamente más altos de área núcleo (>4%), aunque siguen siendo reducidos en relación con el total del paisaje. Los perímetros más extensos y formas más complejas se concentran en parches centrales, lo que implica una exposición mayor a la matriz circundante. Los índices de forma y dimensión fractal destacan la geometría irregular y sinuosa de los fragmentos, reflejando un proceso avanzado de fragmentación.



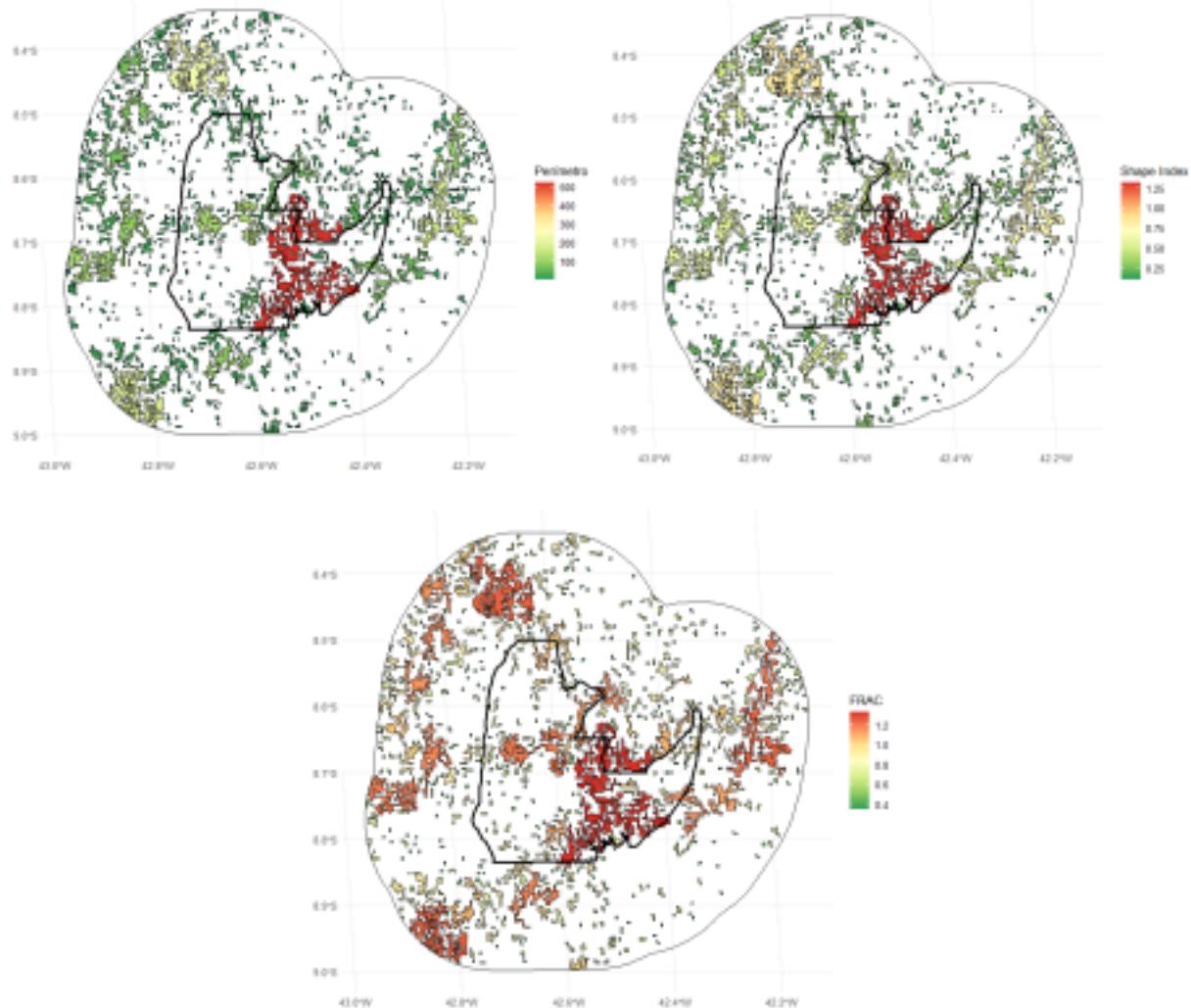


Figura 4. Métricas de Fragmentación a nivel de parque: Área Núcleo, Porcentaje de Borde, Perímetro, Índice de Forma, Dimensión Fractal. El contorno del área protegida se presenta en color negro.

Respecto a la ubicación del bosque de Caatinga dentro del Parque Nacional considerado, el polígono del área protegida abarca una región donde la densidad y tamaño de los parches de bosque son notablemente mayores en comparación con la matriz circundante. El área protegida concentra bloques más extensos y relativamente menos fragmentados, mientras que el exterior se caracteriza por fragmentos pequeños, dispersos y aislados. Además, dentro del Parque Nacional se localizan los pocos parches que superan el 4-5% de área núcleo y que mantienen proporciones de borde algo menores al promedio regional (95-97% en lugar de 99-100%). Esto significa que la integridad estructural se preserva mejor dentro del área protegida. Fuera de sus límites, la proporción de borde es prácticamente total, con ausencia de hábitat interior. Los fragmentos más grandes y de perímetro más extenso se encuentran en la zona central del área. Allí también se concentran los valores más altos de complejidad de forma (Shape Index y FRAC), que indican un proceso de fragmentación avanzado, pero aún con suficiente superficie continua para sostener dinámicas poblacionales. En contraste, los fragmentos externos son más pequeños, compactos y extremadamente expuestos. Finalmente, el análisis por grilla revela que la mayor parte del paisaje presenta niveles críticos de fragmentación (rojo intenso), pero el interior del parque aporta los valores menos extremos (zonas amarillas). Esto confirma que la reserva actúa como núcleo de hábitat relativamente más funcional en una matriz altamente degradada.

Análisis de Centralidad y Agrupación (Figura 5)

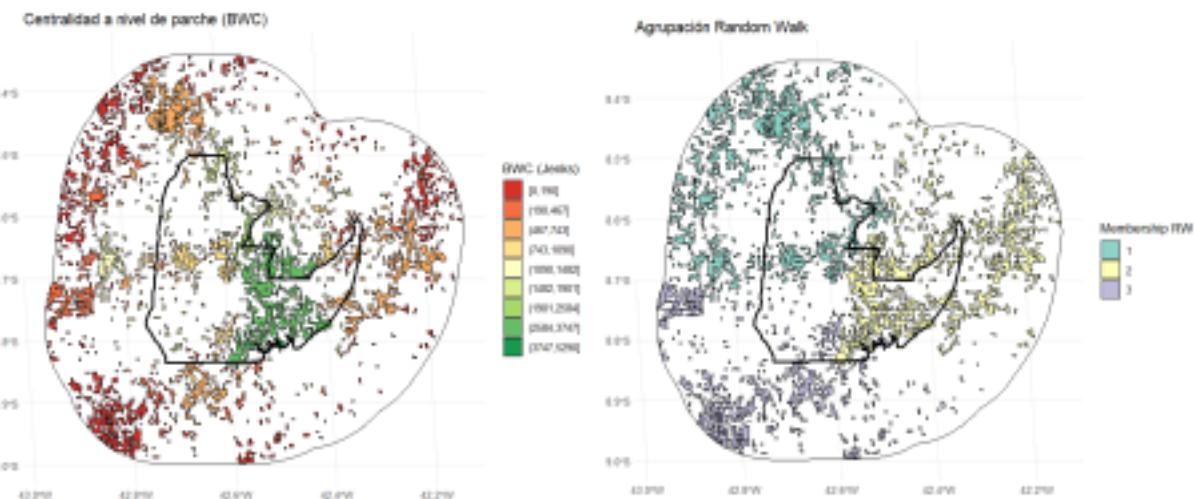
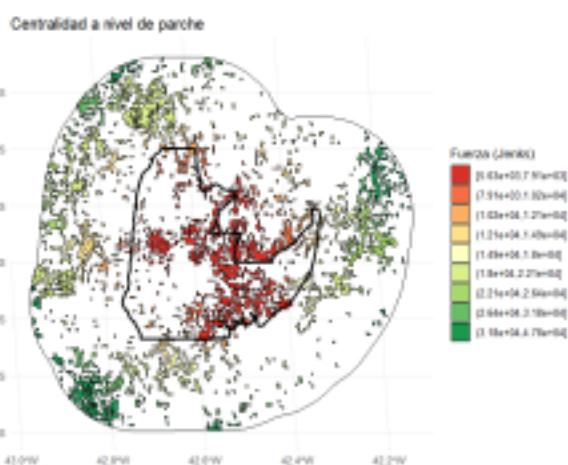
El mapa de Centralidad de fuerza (Strength) muestra que los valores más altos de fuerza se concentran en los parches centrales y norte del área de estudio. Estos fragmentos mantienen mayor número de conexiones directas con otros parches cercanos, funcionando como nodos clave dentro de la red

estructural del paisaje. En términos funcionales, representan sectores donde la pérdida de un parche tendría un impacto inmediato sobre la conectividad local.

En contraste, los valores más altos de BWC se localizan hacia el centro-este y suroeste, donde los fragmentos actúan como puentes estratégicos que enlazan diferentes sectores del paisaje. Estos parches no necesariamente son los más grandes, pero cumplen un rol crítico como stepping stones o cuellos de botella para el flujo de especies. Su pérdida podría interrumpir conexiones de mayor escala, fragmentando la red en subunidades aisladas.

En lo que refiere a las agrupaciones de parches, la partición en tres grupos revela que el paisaje está estructurado en bloques relativamente independientes: un conjunto dominante en el noroeste, otro en el centro-este y uno más en el sur. Esto indica que la conectividad interna es más fuerte dentro de cada grupo, pero con vínculos limitados entre ellos. Según la agrupación Louvain, también se identifican tres grandes comunidades, aunque con límites algo diferentes. La presencia de estos clústeres confirma la existencia de una red fragmentada en subunidades funcionales, separadas por zonas con baja conectividad estructural.

En relación con el área protegida, los parches con mayor fuerza (Strength) se localizan en el interior del parque, indicando que allí se concentran los nodos más conectados localmente dentro de la red ecológica. Los valores más altos de intermediación (BWC) también se encuentran en gran medida dentro del polígono protegido, revelando que varios fragmentos del parque actúan como puentes estratégicos entre diferentes sectores del paisaje. Los análisis de agrupación (Random Walk y Louvain) muestran que el interior del parque constituye un bloque de conectividad relativamente cohesionado, mientras que el entorno aparece fragmentado en comunidades más dispersas y desconectadas.



Agrupación Louvain

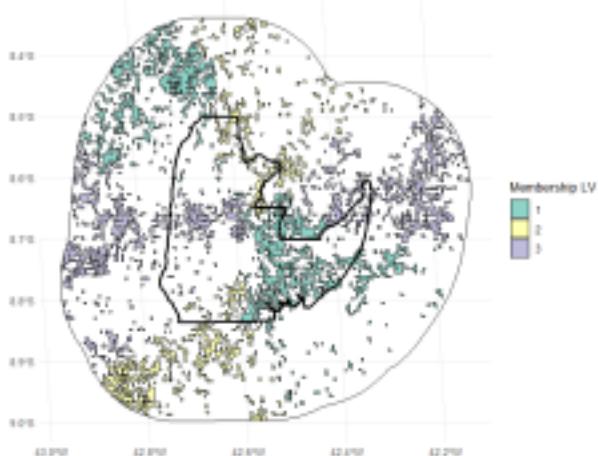
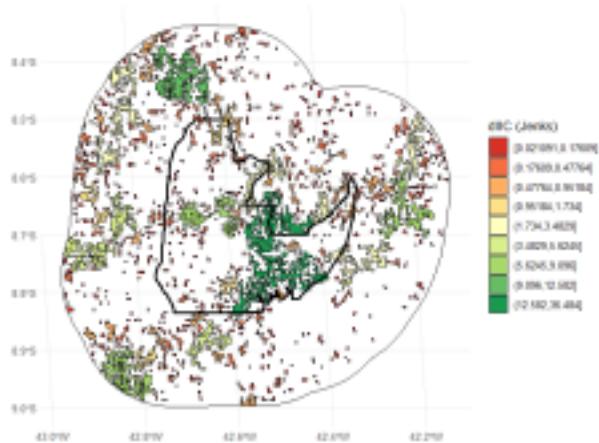


Figura 5. Centralidad y Agrupación. El contorno del área protegida se presenta en color negro. **Índice Integral de Conectividad (Figura 6)**

Los resultados del Índice Integral de Conectividad (IIC) y de sus fracciones muestran que la contribución a la conectividad global del paisaje no es homogénea, sino que está concentrada en determinados fragmentos, muchos de los cuales se ubican dentro del área protegida.

- dIIC (aporte global): los valores más altos se concentran en el interior del parque y en su entorno inmediato. Esto confirma que los fragmentos dentro del AP son los principales contribuyentes a la conectividad total del sistema.
- dIICintra (aporte por superficie de hábitat): destacan los grandes fragmentos ubicados en el interior del parque, que concentran la mayor disponibilidad de hábitat continuo. Esto refuerza la importancia del AP en la conservación de núcleos extensos.
- dIICflux (aporte como puentes de flujo): varios fragmentos al interior del parque actúan como nodos de flujo que enlazan sectores centrales con áreas periféricas. La pérdida de estos parches reduciría de forma significativa la posibilidad de movimiento funcional entre subregiones del paisaje.
- dIICconnector (aporte como conectores estratégicos): aunque algunos parches externos cumplen roles de conector, dentro del parque también se localizan fragmentos con alta intermediación que sostienen la estructura de la red.



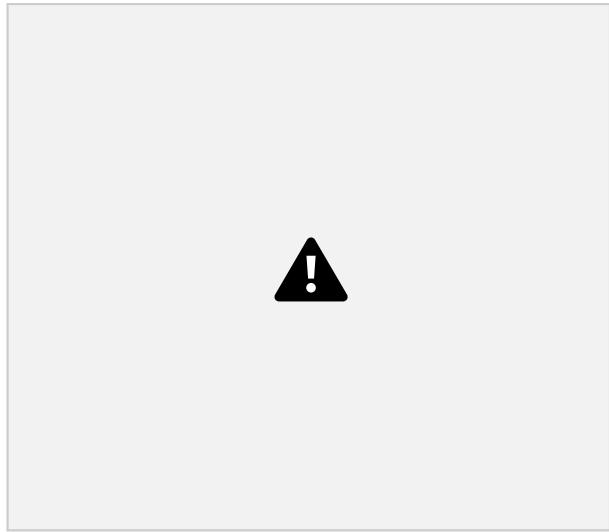
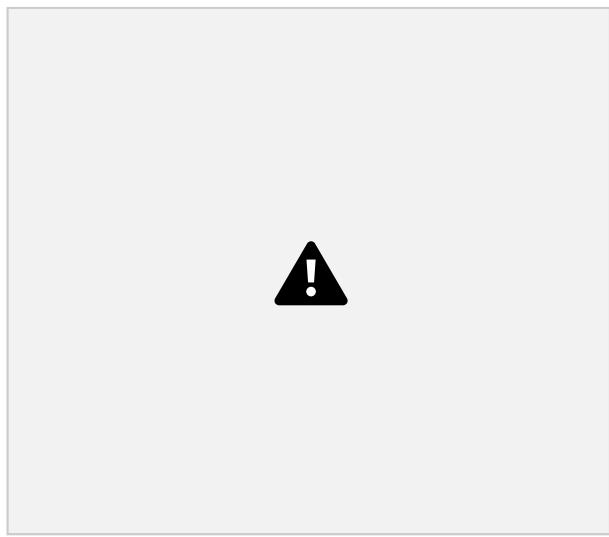
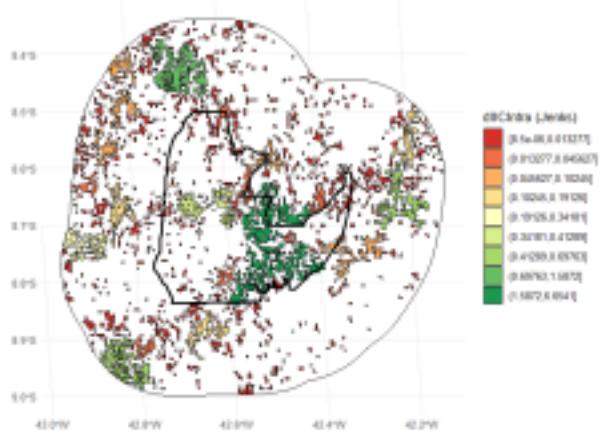


Figura 6. Índice Integral de Conectividad para el paisaje de estudio completo. El contorno del área protegida se presenta en color negro.

Probabilidad de Conectividad (Figura 7)

El índice de Probabilidad de Conectividad (PC) complementa la información del IIC al incorporar explícitamente la probabilidad de conexión entre parches, ponderada por distancia. Las fracciones calculadas permiten identificar la contribución relativa de cada fragmento a la conectividad regional:

- dPC (aporte global): los valores más altos se concentran dentro del Parque Nacional Serra da Capivara, confirmando que los parches protegidos son los principales contribuyentes a la conectividad del paisaje.

- dPCintra (contribución de la superficie de hábitat): destacan los fragmentos más extensos al interior del parque, que aseguran una mayor proporción de hábitat disponible y continuo.
- dPCflux (función de flujo): dentro del AP se ubican varios nodos que facilitan el intercambio entre parches cercanos, lo cual aumenta la probabilidad de movimiento funcional y reduce el aislamiento entre subregiones.
- dPCconnector (conectores estratégicos): si bien algunos fragmentos externos cumplen roles de puente, varios de los parches con mayor valor de conexión se encuentran dentro o en la periferia inmediata del parque. Esto refuerza la importancia del AP no solo como núcleo de hábitat, sino también como articulador de la red.



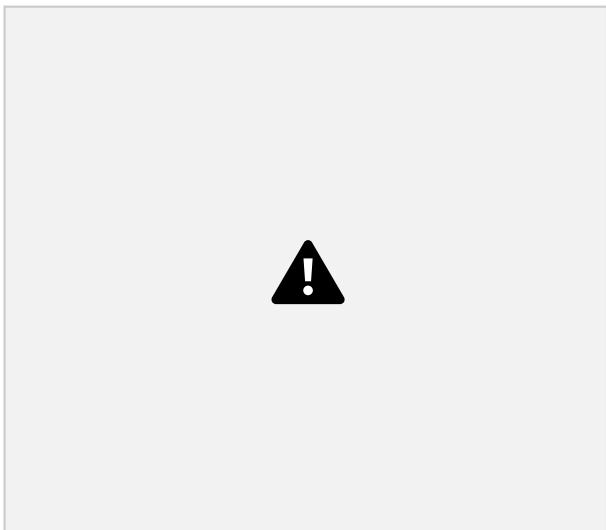


Figura 7. Probabilidad de conectividad y sus fracciones. El contorno del área protegida se presenta en color negro.

Parches importantes a restaurar en el AP y su entorno (Figura 8)

En el mapa, los tonos rojos señalan los parches cuya restauración incrementa de forma marcada la conectividad global del paisaje (alto % dPCres), mientras que los azules indican un aporte nulo o muy bajo (valores cercanos a 0; en casos puntuales podrían incluso ser negativos por redundancia espacial o posición poco estratégica).

Entre los parches ≥ 1000 ha, el bloque central-sureste, ubicado mayoritariamente dentro del área protegida, concentra los valores más altos de %dPCres. Esto refleja una combinación de gran superficie y ubicación favorable (alta vecindad efectiva dentro del umbral de dispersión), que potencia el intercambio entre subredes y eleva el EC(PC) del sistema. En cambio, varios grandes periféricos del noroeste y del este-noreste muestran aportes intermedios o bajos, pese a su tamaño: su posición marginal y la discontinuidad respecto del núcleo reducen la ganancia de conectividad que su restauración aportaría al paisaje regional.

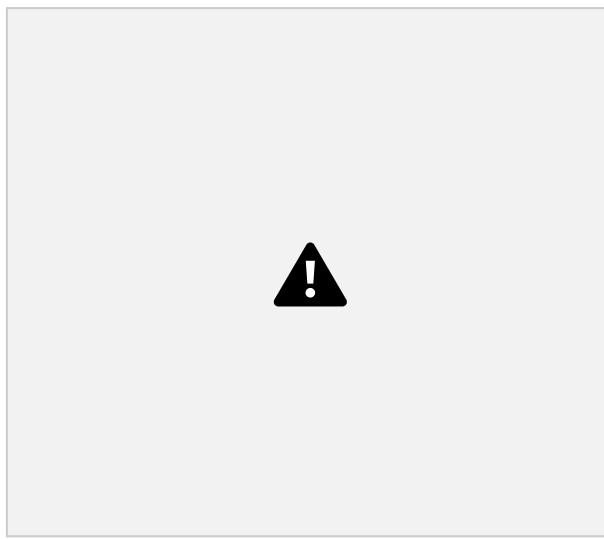


Figura 8. Parches de relevancia a restaurar. El contorno del área protegida se presenta en color negro. **Coneectividad dentro del área protegidas (Figuras 9 y 10)**

En el paisaje evaluado, la superficie protegida representa 4.46% y la fracción protegida y conectada (ProtConn) alcanza 4.28% del total, mientras que solo 0.17% queda protegida pero aislada (ProtUnconn). La conectividad relativa dentro del sistema protegido es muy alta (RelConn = 96.10%), es decir, casi toda el área protegida es mutuamente alcanzable bajo un umbral de 10 km. La descomposición muestra que 57.41% de ProtConn se sostiene por conexiones internas dentro del AP (Within/Prot), y 42.59% depende

de enlaces que atraviesan la matriz no protegida (Contig/Unprot); no se detecta dependencia de áreas protegidas externas (Trans = 0%). En términos de conectividad global, el paisaje equivale a EC(PC) = 22651.8 ha de hábitat perfectamente conectado, con PC = 1.8×10^{-3} . Es así que el PNSC forma un bloque protegido muy bien articulado (RelConn alto), pero ~43% de su conectividad protegida se apoya en la matriz no protegida circundante. Por eso, los conectores fuera del AP son estratégicos para sostener ProtConn.

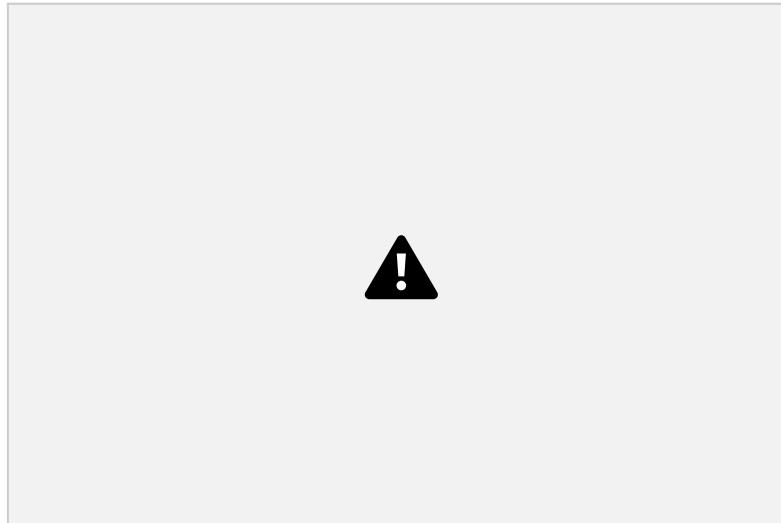
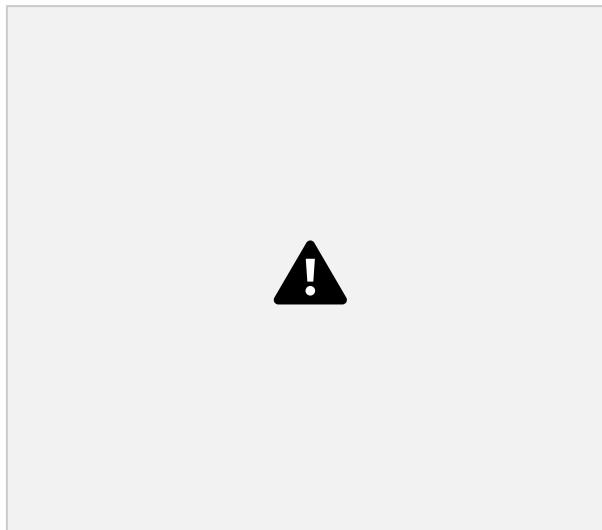


Figura 9. Tabulado de valores de conectividad y protección para PNSC.

En el gráfico de Δ Prot, los máximos (rojos) se concentran en el centro-sur y centro-este del PNSC. Corresponden a los parches protegidos de mayor tamaño/continuidad, cuya pérdida reduciría de forma directa la superficie protegida efectiva del sistema. Para Δ ProtConn, los valores más altos (tonos azules) aparecen en el núcleo centro-sureste y en bordes que lo vinculan a subnúcleos externos. Son los nodos críticos para mantener el nexo entre porciones protegidas; su degradación fragmentaría el sistema protegido. Finalmente, varProtConn, se concentra en la misma franja central del AP, indicando que allí pequeñas alteraciones producen cambios desproporcionados en la conectividad protegida. En la periferia, la variación es baja a moderada.



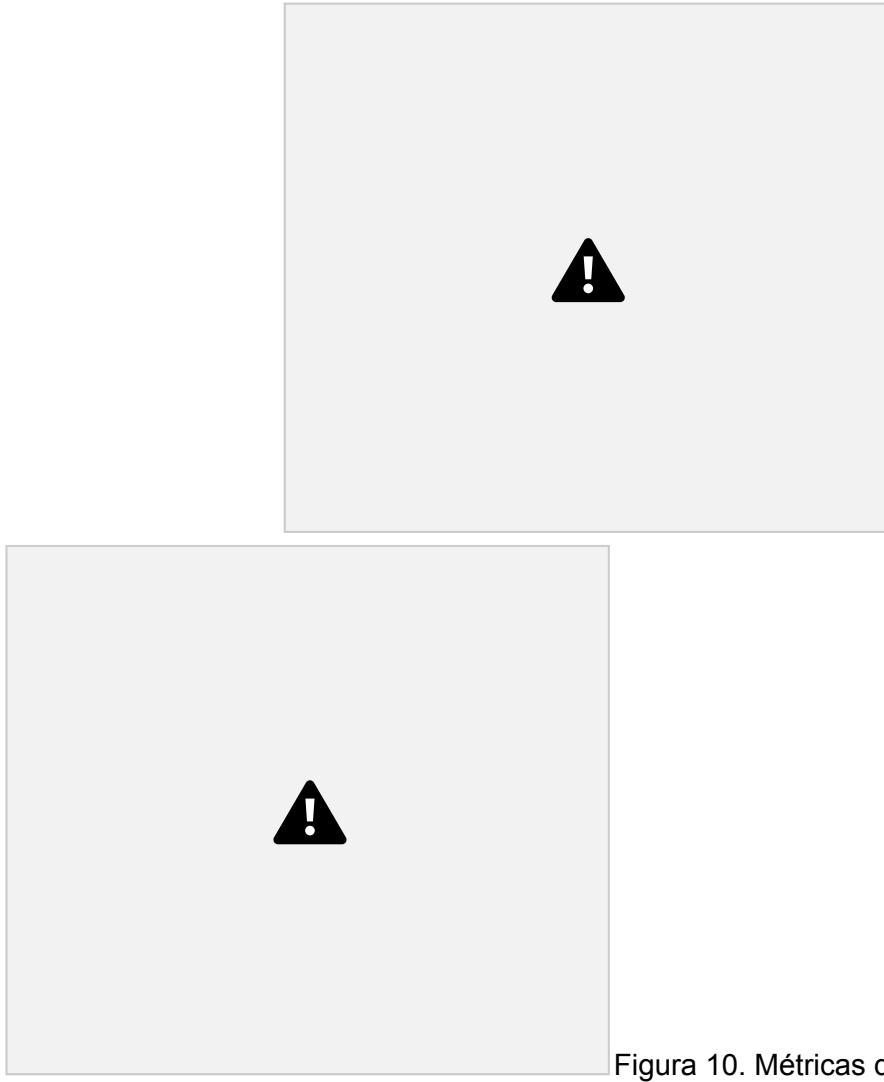


Figura 10. Métricas de conectividad dentro del PNSC.

Discusión

El diagnóstico integrado de fragmentación, centralidad y conectividad muestra un paisaje altamente fragmentado, con predominio de parches pequeños, muy bordeados y con baja proporción de núcleo. Esto reduce la disponibilidad de hábitat interior y aumenta la vulnerabilidad a efectos de borde, limitando la dispersión y la persistencia de especies con baja tolerancia a la matriz. En contraste, el Parque Nacional Serra da Capivara (PNSC) concentra los bloques de mayor tamaño y los porcentajes más altos de área núcleo, actuando como ancla de la red regional.

Las métricas a nivel de parche (FRAC, Shape Index, perímetro, % borde y % área núcleo) y el mapa MESH confirman que, fuera del AP, la matriz presenta fragmentación generalizada y dominada por fragmentos chicos. Dentro del PNSC, los parches extensos y más compactos explican la mayor parte del hábitat efectivo, por lo que su degradación implicaría pérdidas desproporcionadas.

En términos de red, los análisis de centralidad ubican al interior del PNSC como bloque cohesionado (alta strength) con varios nodos-puente que conectan subredes vecinas (BWC). Los máximos de PC y dPC se concentran dentro del parque y en su franja centro-sureste, seguidos por clústeres periféricos noroeste y este noreste con aporte intermedio. La descomposición de PC aclara el “por qué” de cada sitio:

- dPC_intra domina en los grandes parches del AP, reflejando su valor por hábitat disponible; •
- dPC_flux es alto en bordes del PNSC y nexos hacia el este, señalando oportunidades de enlace; •
- dPC_connector es bajo en general, lo que sugiere rutas alternativas (pocos cuellos únicos) al umbral de 10 km.

La lectura exclusiva de lo protegido mediante ProtConn aporta un matiz clave que el PC global no entrega por sí solo. A escala del paisaje, la superficie protegida es 4.46%, y la fracción protegida y conectada

(ProtConn) alcanza 4.28%; solo 0.17% del área protegida queda aislada (ProtUnconn). La conectividad relativa del sistema protegido (RelConn) es 96.1%, es decir, casi todo lo protegido es mutuamente alcanzable con 10 km de dispersión. Sin embargo, 42.6% del ProtConn depende de enlaces que atraviesan matriz no protegida (Contig/Unprot), de modo que los conectores externos son tan críticos como el núcleo intraprotegido. Los mapas Δ Prot y Δ ProtConn localizan los puntos críticos en el centro-sureste del PNSC y en bordes de enlace; varProtConn indica que esa franja es altamente sensible: pequeños cambios producirían grandes caídas en conectividad protegida.

El escenario de restauración focal (parches \geq 1000 ha) muestra que los grandes del centro-sureste del AP presentan los mayores %dPCres (rojos intensos), por lo que su restauración/expansión ofrece la máxima ganancia neta de conectividad. En los grandes periféricos, el beneficio aumenta si se tejen corredores o stepping-stones que los integren al núcleo del PNSC. Por su parte, EC(PC) \approx 22652 ha traduce la conectividad global a área equivalente, facilitando comunicar cuánto hábitat continuo “efectivo” representa hoy la red.

El PNSC concentra etnóncos el núcleo de hábitat y nodos influyentes; la matriz circundante sostiene casi la mitad de la conectividad protegida; y las mejores opciones de mejora combinan consolidación interna del AP con corredores externos dirigidos.

Conclusión

1. El PNSC es el núcleo funcional de conectividad en la región: alberga los parches más grandes, con mayor área núcleo, y concentra los máximos de PC/dPC y centralidad.
2. La conectividad protegida es alta pero frágilmente apoyada en la matriz: con ProtConn = 4.28% y RelConn = 96.1%, el sistema protegido funciona, pero ~42.6% de su desempeño depende de conectores fuera del AP.
3. La estrategia más costo-efectiva es doble:
 - “Blindar” el núcleo centro-sureste del PNSC (control de nuevas rupturas, expansión/compactación de bordes internos), donde Δ Prot/ Δ ProtConn y %dPCres son máximos.
 - Restaurar y formalizar corredores en la matriz (bordes del AP hacia NO y E-NE), elevando dPC_flux y disminuyendo la dependencia de enlaces no protegidos.

Referencias

- 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.
- Arnan, X., Arcoverde, G. B., Pie, M. R., Ribeiro-Neto, J. D., & Leal, I. R. (2018). Increased anthropogenic disturbance and aridity reduce phylogenetic and functional diversity of ant communities in Caatinga dry forest. *Science of the Total Environment*, 631, 429–438.
- Barros, M. F., Ribeiro, E. M. S., Vanderlei, R. S., de Paula, A. S., Silva, A. B., Wirth, R., Cianciaruso, M. V., & Tabarelli, M. (2020). Resprouting drives successional pathways and the resilience of Caatinga dry forest in human modified landscapes. *Forest Ecology and Management*, 482, 118881.
- Bodin, Ö., & Saura, S. (2010). Ranking individual habitat patches as connectivity providers: Integrating network analysis and patch removal experiments. *Ecological Modelling*, 221(19), 2393–2405.
- Câmara, T., Leal, I. R., Blüthgen, N., Oliveira, F. M. P., de Queiroz, R. T., & Arnan, X. (2018). Effects of chronic anthropogenic disturbance and rainfall on the specialization of ant-plant mutualistic networks in the Caatinga, a Brazilian dry forest. *Journal of Animal Ecology*, 87(4), 1022–1033. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12820>
- Castanho, A. D. A., Coe, M., Andrade, E. M., Walker, W., Baccini, A., Campos, D. A., & Farina, M. (2020). A close look at above ground biomass of a large and heterogeneous seasonally dry tropical forest—Caatinga in Northeast Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92(1), e20190282.

- Cushman, S. A., & McGarigal, K. (2008). Landscape metrics, scales of resolution. En *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps* (pp. 33–51). University of Massachusetts, Amherst.
- da Silva, J. M. C., Leal, I. R., & Tabarelli, M. (Eds.). (2018). *Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America*. Springer.
- Fonseca, C. R., Antongiovanni, M., Matsumoto, M., Bernard, E., & Venticinque, E. M. (2018). Conservation opportunities in the Caatinga. En J. M. C. da Silva, I. R. Leal, & M. Tabarelli (Eds.), *Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America* (pp. 429–443). Springer.
- Freire-Filho, R., & Palmeirim, J. M. (2020). Potential distribution of and priority conservation areas for the Endangered Caatinga howler monkey *Alouatta ululata* in north-eastern Brazil. *Oryx*, 54(6), 794–802.
- Godínez-Gómez, O., Correa-Ayram, C., Goicoechea, T., & Saura, S. (2025). *Makurhini: An R package for comprehensive analysis of landscape fragmentation and connectivity*. Research Square.
- Gonçalves, G. S. R., Cerqueira, P. V., Silva, D. P., Gomes, L. B., Leão, C. F., de Andrade, A. F. A., & Santos, M. P. D. (2023). Multi-temporal ecological niche modeling for bird conservation in the face of climate change scenarios in Caatinga, Brazil. *PeerJ*, 11, e14882.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., Lovejoy, T. E., Sexton, J. O., Austin, M. P., Collins, C. D., Cook, W. M., Damschen, E. I., Ewers, R. M., Foster, B. L., Jenkins, C. N., King, A. J., Laurance, W. F., Levey, D. J., Margules, C. R., ... Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), e1500052.
- ICMBio. (2025). *Parna da Serra da Capivara*. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.
- Jaeger, J. A. G. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15(2), 115–130.
- Lemos, J. R. (2004). Composição florística do Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil. *Rodriguésia*, 55(85), 55–66.
- Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2005, 16 de março). *Serras da Capivara e das Confusões serão unidas por corredor ecológico*.
- R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Ribeiro, E. M. S., Lohbeck, M., Santos, B. A., Arroyo-Rodríguez, V., Tabarelli, M., & Leal, I. R. (2019). Functional diversity and composition of Caatinga woody flora are negatively impacted by chronic anthropogenic disturbance. *Journal of Ecology*, 107(5), 2291–2302.
- Ribeiro, J. R., Las-Casas, F. M. G., Lima, H. S., Silva, W. A. de G. e., & Naka, L. N. (2021). The effect of forest management on the avifauna of a Brazilian dry forest. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 631247.
- Salomão, R. P., Alvarado, F., Dália Maia, A. C., Oliveira, D. W. G., Linzmeier, A. M., & Iannuzzi, L. (2024). Insights of ecological resilience in Caatinga assemblages—Landscape configuration drives Chrysomeloidea (Coleoptera) diversity in a seasonally dry tropical forest. *International Journal of Tropical Insect Science*, 44(4), 1989–2000.
- Saura, S., & Pascual-Hortal, L. (2007). A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning*, 83(2–3), 91–103.
- Saura, S., & Rubio, L. (2010). A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33(3), 523–537.

- Urban, D., & Keitt, T. (2001). Landscape connectivity: A graph-theoretic perspective. *Ecology*, 82(5), 1205–1218.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer.