



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA
(ILACVN)**

**CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - ECOLOGIA E
BIODIVERSIDADE**

**PROPOSTA DE ROTAS DE CONECTIVIDADE ESTRUTURAL ENTRE AS ÁREAS
PROTEGIDAS TERRESTRES DA COLÔMBIA PARA A CONSERVAÇÃO DA
BIODIVERSIDADE**

PAOLA ANDREA DÍAZ LÓPEZ

Foz do Iguaçu
2023



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA
(ILACVN)**

**CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - ECOLOGIA E
BIODIVERSIDADE**

**PROPOSTA DE ROTAS DE CONECTIVIDADE ESTRUTURAL ENTRE AS ÁREAS
PROTEGIDAS TERRESTRES DA COLÔMBIA PARA A CONSERVAÇÃO DA
BIODIVERSIDADE**

PAOLA ANDREA DÍAZ LÓPEZ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas - Ecologia e Biodiversidade.

Orientador: Prof. Dr. Peter Löwenberg-Neto

Foz do Iguaçu
2023

PAOLA ANDREA DÍAZ LÓPEZ

**PROPOSTA DE ROTAS DE CONECTIVIDADE ESTRUTURAL ENTRE AS ÁREAS
PROTEGIDAS TERRESTRES DA COLÔMBIA PARA A CONSERVAÇÃO DA
BIODIVERSIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Latino-Americano de
Ciências da Vida e da Natureza da
Universidade Federal da Integração Latino-
Americana, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Ciências Biológicas
- Ecologia e Biodiversidade.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Peter Löwenberg-Neto
UNILA

Prof^a. Dr^a. Maelin Da Silva
UNILA

Prof. Dr. Leonardo Da Silva Thomazini
UNILA

Foz do Iguaçu, 12 de junho de 2023.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Paola Andrea Díaz López.
Curso: Ciências Biológicas - Ecologia e Biodiversidade

	Tipo de Documento
(X) graduação	(.....) artigo
(.....) especialização	(X) trabalho de conclusão de curso
(.....) mestrado	(.....) monografia
(.....) doutorado	(.....) dissertação
	(.....) tese
	(.....) CD/DVD – obras audiovisuais
	(.....) _____

Título do trabalho acadêmico: Proposta de rotas de conectividade estrutural entre as áreas protegidas terrestres da Colômbia para a conservação da biodiversidade

Nome do orientador(a): Prof. Dr. Peter Löwenberg-Neto

Data da Defesa: 12/06/2023

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

Assinatura do Responsável

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a minha mãe Misaelina e minha irmã Milena, porque mesmo parecendo que eu tinha ficado louca para deixar tudo na Colômbia e vir pro Brasil para começar do zero, elas apoiaram minhas escolhas e continuam até hoje dando esse ânimo que sempre é confortável no meio da solidão de estar longe da família, a distância só fez os laços mais fortes, eterno amor e agradecimento a vocês.

Agradeço profundamente a minha companheira e melhor amiga Shirley, por todo o apoio e palavras de confiança para não desistir, você me fez ser mais decidida e forte, vou estar sempre agradecida, me acompanhou nos momentos mais difíceis e espero estar com você para ser sempre seu suporte; além de tudo me fez adotar uma gata que hoje é minha maior companhia nos dias de escrita deste TCC.

A meus amigos, Belu, Mari, Julián, Mariana, Anto e Douglas porque sua amizade fez a minha vida mais leve durante esses 5 anos, me mostraram que os amigos são o melhor suporte nos momentos difíceis e sua presença uma das maiores alegrias, vocês foram indispensáveis neste caminho que no início via infinito e mesmo na distância eu sei que vamos desejar o melhor um pro outro.

A todos meus colegas e conhecidos da faculdade que em algum momento deram essas palavras de alento e força, contar com pessoas tão legais como vocês, nem todo mundo tem essa fortuna.

Agradeço a UNILA, por me dar tão maravilhosa experiência, por me brindar um espaço de aprendizados e poder conhecer pessoas tão maravilhosas.

Agradeço ao meu orientador Peter Löwenberg-Neto, pela paciência, ajuda e confiança, ao igual que a todos os professores da universidade, por compartilhar tantos conhecimentos que com certeza vou aproveitar ao longo da minha vida.

RESUMO

O surgimento da biologia da conservação deu passo ao reconhecimento das diferentes problemáticas nos ecossistemas pelos efeitos das modificações feitas pelos seres humanos. Assim, se viu a necessidade de estabelecer diálogos e ações para diminuir tais impactos, pois está em risco a biodiversidade do planeta. Dessa forma, disciplinas como a biogeografia, a ecologia, o planejamento sistemático e ferramentas como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem feito avanços nos programas de conservação. Porém, a degradação do solo, fragmentação, desmatamento, entre outros, estão tendo um progresso negativo de forma acelerada o que tem levado a desconexão dos ecossistemas interrompendo o fluxo das populações e processos ecológicos. É por isso, que a conectividade ecológica se converte em uma necessidade para a diminuição das consequências das transformações na paisagem. Essa conectividade pode ser tanto funcional, como estrutural. Na Colômbia, existe o Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) onde são administradas as áreas protegidas (APs) do país que são encarregadas de conservar porções de biodiversidade, no entanto, essas áreas sofrem os efeitos negativos da fragmentação o que demonstra a urgência de estabelecer planos de conectividade e aumentar o fluxo de populações e serviços ecossistêmicos para a conservação da biodiversidade. Por isso, dentro dos objetivos, se estabelece realizar uma proposta de rotas de conectividade estrutural entre as áreas protegidas, identificando os elementos do uso e ocupação da terra que dificultam a dita conectividade e reconhecendo áreas importantes de conexão. O anterior foi feito por meio do uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) especificamente do software ArcGIS, onde se construiu uma superfície de custo com atribuição de pesos de 1 a 10 para as características que estabelecem a impedância da conectividade e posteriormente foi feita a proposta de conectividade entre as APs. Como resultado, as classes de cobertura que maior influenciam tem na fricção, são aquelas com maior presença de urbanização, culturas permanentes e terras degradadas, provavelmente por causa da industrialização das culturas nos anos 90's e algumas formas de deslocamento por parte da guerra no país. Desse modo os mapas de distância e conectividade mostram como as APs mais próximas tem maior probabilidade de conexão, porém, se observa que existem marcados afastamentos que impedem a conectividade entre as cinco regiões naturais terrestres, dado também pelo desmatamento, plantações ilícitas e pressões antrópicas. No mapa de conectividade de menor custo foram obtidas 433 rotas, enquanto no mapa de conexões vizinhas foram identificadas 1014 rotas. Aqui pode se observar a importância de certas APs como pontos importantes para a conectividade a nível local e regional contribuindo na ampla demanda de zonas para a proteção da biodiversidade. Com tudo, graças a proposta de conectividade é possível identificar áreas importantes que podem servir para estabelecer planos territoriais para a conservação da biodiversidade, priorizar áreas, criar corredores ecológicos, no entanto, tudo com a participação da comunidade a qual é essencial para implementação das políticas de conservação.

Palavras-chave: Uso e ocupação da terra, fragmentação, planejamento, território, regiões naturais.

RESUMEN

El surgimiento de la biología de la conservación dio paso al reconocimiento de las diferentes problemáticas en los ecosistemas por los efectos de las modificaciones hechas por los seres humanos, se vio la necesidad de establecer diálogos y acciones para disminuir tales impactos, pues está en riesgo la biodiversidad del planeta. Con ello, disciplinas como la biogeografía, ecología, planeamiento sistemático y herramientas como los Sistemas de Información Geográficas (SIG) han hecho avances en los programas de conservación. Sin embargo, la degradación del suelo, la fragmentación, la deforestación, etc., están teniendo un progreso negativo de forma acelerada lo que a llevado a la desconexión de los ecosistemas interrumpiendo el flujo de las poblaciones y procesos ecológicos. Es por eso, que la conectividad ecológica se convierte en una necesidad para la reducción de las consecuencias de las transformaciones en el paisaje. Esa conectividad puede ser tanto funcional, como estructural. En Colombia, existe el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) donde son administradas las áreas protegidas (APs) del país que son encargadas de conservar porciones de biodiversidad, sin embargo, esas áreas sufren los efectos negativos de la fragmentación lo que demuestra la urgencia de establecer planes de conectividad y aumentar el flujo de poblaciones y servicios ecosistémicos para la conservación de la biodiversidad. Por tanto, dentro de los objetivos, se establece realizar una propuesta de rutas de conectividad estructural entre las áreas protegidas, identificando los elementos de la cobertura de la tierra que dificultan dicha conectividad y reconociendo áreas importantes de conexión. Lo anterior se realizó mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) específicamente el software ArcGIS, donde se construyó una superficie de costo con pesos del 1 al 10 asignados a las características que establecen la impedancia de conectividad y posteriormente fue hecha la propuesta de conectividad entre APs. Como resultado, las clases de cobertura que tienen mayor influencia en la fricción son aquellas con mayor presencia de urbanización, cultivos permanentes y suelo degradado, probablemente por la industrialización de los cultivos en la década de los 90 y algunas formas de desplazamiento por la guerra en el país. De esta forma, los mapas de distancia y conectividad muestran cómo las APs más cercanas tienen mayor probabilidad de estar conectadas, sin embargo, se observa que existen distancias marcadas que impiden la conectividad entre las cinco regiones naturales terrestres, también por la deforestación, las plantaciones ilícitas y la actividad antrópica. En el mapa de conectividad de menor costo se obtuvieron 433 rutas, mientras que en el mapa de conexiones vecinas se identificaron 1014 rutas. Aquí se puede observar la importancia de ciertas APs como puntos importantes de conectividad a nivel local y regional, contribuyendo a la amplia demanda de zonas para la protección de la biodiversidad. Con todo, gracias a la propuesta de conectividad es posible identificar áreas importantes que pueden servir para establecer planes territoriales para la conservación de la biodiversidad, priorizar áreas, crear corredores ecológicos, eso sí, todo con la participación de la comunidad, que es fundamental para la implementación de las políticas de conservación.

Palabras clave: Cobertura de la tierra, fragmentación, planeamiento, territorio, regiones naturales.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Regiões naturais da Colômbia	20
Figura 2. Mapa das áreas protegidas da Colômbia de acordo ao SINAP.	22
Figura 3. Mapa de distribuição de pesos	26
Figura 4. Mapa de custo de distância.	27
Figura 5. Mapa de conectividade.....	30
Figura 6. Exemplos de como é feita a conexão entre as APs, com diferentes distâncias entre as áreas e pesos circundantes.....	31
Figura 7. Mapa de conexões vizinhas	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das áreas protegidas da Colômbia.....	16
Tabela 2. Pesos atribuídos para as diferentes classes de cobertura da terra.....	23
Tabela 3. Custo acumulativo das rotas do mapa de conectividade	29
Tabela 4. Custo acumulativo das rotas do mapa de conexões vizinhas	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APs	Áreas protegidas
AR	Áreas de Recreio
DCS	Distritos de Conservação do Solo
DRMI	Distritos de Manejo Integrado
IDEAM	Instituto de hidrologia, meteorologia e estudos ambientais
OMEC	Outras Medidas Efetivas de Conservação baseadas na área
PNN	Parque Nacional Natural
PNR	Parque Natural Regional
RNSC	Reserva Natural da Sociedade Civil
RPF	Reservas Florestais Protetoras
RUNAP	Registro Único Nacional de Áreas Protegidas
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SINAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
SPNN	Sistema de Parques Nacionais Naturais
WWF	World Wildlife Foundation

SUMÁRIO

SUMÁRIO	11
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 METODOLOGIA	19
3.1 ÁREA DE ESTUDO	19
3.2 SUPERFÍCIE DE CUSTO	21
3.3 CRIAÇÃO DE ROTAS DE CONECTIVIDADE.....	24
4 RESULTADOS	24
5 DISCUSSÃO	34
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

A biologia da conservação surgiu como uma ciência multidisciplinar em resposta à crise causada pelas pressões antrópicas no ambiente ao longo do tempo. Por isso, Soulé em 1985 classifica ela como uma *disciplina de crise* (COSTA; MELLO, 2020). Um dos objetivos dessa disciplina é a pesquisa dos efeitos dos seres humanos sobre os demais seres vivos e ecossistemas, além do desenvolvimento de ações práticas para prevenir a degradação, restaurar e reestabelecer as complexidades ecológicas (PRIMACK *et al.*, 2001). Nesse contexto, se apresenta a necessidade de diálogo e eficácia por parte dos diferentes atores na resolução dos problemas que demandam atenção imediata, porém, a interdisciplinaridade da conservação biológica oferece cooperação, onde áreas científicas trazem aportes significativos, como é o exemplo da biogeografia da conservação que tem um papel importante na área conservacionista.

Dentro da multidisciplinaridade, o campo da biogeografia da conservação surge como uma área fundamental para o planejamento da conservação, isso, graças à integração da área da biogeografia, que se ocupa da distribuição dos organismos no espaço e no tempo, e a conservação, que estuda a relação homem-natureza (WHITTAKER *et al.*, 2005), com isso, a biogeografia da conservação é definida como a “utilização de teorias, princípios e análises biogeográficas na perspectiva da conservação da biodiversidade” (NETO; LOYOLA, 2016). Dessa forma, entre as funcionalidades mais sobressalientes e influentes dessa área estão as estruturas de planejamento de áreas protegidas (APs), os mapas resultantes disso e as aplicações em escalas espaciais focadas em corredores ecológicos (WHITTAKER *et al.*, 2005).

Diante do exposto, o planejamento sistemático da conservação não é só apenas a limitação de reservas direcionadas pelos padrões físicos e biológicos, além disso, deve incluir variáveis como tamanho e representatividade da biodiversidade (MARGULES; PRESSEY, 2000). Por isso, os processos de planejamento da conservação estão acrescentando também a conectividade como um elemento importante. Isso permite a realização de exercícios de priorização para identificar redes de APs que garantam a manutenção a longo prazo da biodiversidade e os processos ecossistêmicos, mediante a atualização e geração de nova informação no sistema de APs (HERRERA; FINEGAN, 2008; HILTY *et al.*, 2021).

Uma forma de conseguir processar os múltiplos dados que podem surgir no planejamento é através de ferramentas como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que têm sido aplicados principalmente ao estudo e planejamento do uso da terra, mas que agora são considerados importantes pois é possível utilizar para explorar a biodiversidade (JONES *et al.*, 1997). Isso é logrado já que o SIG realiza o processo de obtenção, armazenamento e análise de dados, que permite gerar informações úteis para a tomada de decisões. Além disso, trata informação de variáveis muito diversas e complexas, que resulta de várias fontes, o que favorece a análise em conjunto de várias dimensões de um mesmo problema (MOREIRA, 1998).

Como já foi mencionado, a disciplina da biologia da conservação responde às problemáticas ambientais causadas pelo homem. Mediante às ferramentas citadas anteriormente, pode se ver a magnitude dos danos. Atualmente, a perda de hábitat, fragmentação e degradação são as principais causas da perda de conectividade ecológica e biodiversidade na Colômbia. Além disso, a transformação dos ecossistemas naturais em áreas agrícolas modificam a estrutura e a paisagem, o que coloca em risco as florestas e APs (FAO, 2020).

A conectividade ecológica surge como uma metodologia propícia contra as fragmentações nos habitats. A conectividade permite que os organismos ou grupos funcionais de espécies com requerimentos ecológicos semelhantes e capacidade de dispersão similar se desloquem entre fragmentos que possuem recursos, gerando um fluxo de matéria e energia entre diversos ecossistemas, habitats ou comunidades que se conectam como uma unidade denominada metapopulação (AGUDELO, 2020).

Existem dois tipos de conectividade: a conectividade funcional, que considera a interação entre a paisagem e os organismos presentes nela, o que também vai depender da capacidade de dispersão do organismo e sua habilidade de usar a matriz e o habitat; e por outro lado, está a conectividade estrutural, que tem em consideração a permeabilidade dos habitats levando em conta somente os aspectos físicos da paisagem que são importantes para a mobilidade dos organismos.

Esses aspectos incluem fragmentos, perturbações e demais elementos podendo ser de áreas terrestres, marinos e de água doce (HILTY *et al.*, 2021; SEOANE *et al.*, 2010); neste trabalho, o foco está na visão de conectividade estrutural. Além disso, para poder definir uma boa conectividade no habitat, é necessário identificar os elementos que compõem a paisagem, sendo entendida tanto

desde o aspecto estático como com as diferentes dinâmicas que acontecem ali, pelo que pode se dividir em três grandes elementos desde o ponto de vista estático: matriz, corredores e fragmentos. A matriz é o complexo formado pelos fragmentos, e os corredores são aqueles espaços que conectam ditas porções (AGUDELO, 2020).

No entanto, a ideia da modelação da conectividade estrutural é indicar as zonas pelas quais distintas espécies podem se deslocar. Geralmente, existem duas abordagens de fazer essa modelação e assim diminuir o efeito da fragmentação nos habitats, dessa forma, populações, comunidades e processos ecológicos naturais têm maior probabilidade de serem mantidos. Um enfoque pode ser aumentar o tamanho das áreas de conservação vizinhas até que várias áreas se unam em uma só. Porém, a abordagem geralmente priorizada nos modelos é a criação de corredores ecológicos entre as áreas, de preferência entre locais onde há baixas modificações feitas pelo ser humano. Por um lado, o sucesso de ampliar as áreas de proteção depende de conseguir as suficientes áreas e apoio econômico, o que não sempre é possível; contudo, a melhor estratégia contra a fragmentação recai sobre a implantação dos corredores pois pode levar imediatamente a uma maior conectividade estrutural. Também, tem se mostrado que em paisagens que incluem um corredor ecológico, aumenta a conservação o que segura a manutenção da biodiversidade, os processos ecológicos e evolutivos, proporcionando espaços de ligação, contrário do que em paisagens constituídas por fragmentos dispersos e isolados entre si (HERRERA; FINEGAN, 2008; HILTY *et al.*, 2021; MARGULES; PRESSEY, 2000; SEOANE *et al.*, 2010).

De acordo a MORLÁNS ([s. d.]) a matriz é o elemento dominante que atua como tecido que conecta a terra com o fundo, dentro do qual todos os elementos da paisagem se juntam incluindo fragmentos, bordas e corredores. Embora os efeitos dos diferentes fatores de fragmentação, suas implicações e consequências para a matriz territorial estão longe de ser diminuídos, a matriz é a porção mais conectada da paisagem; ela é constituída pela vegetação mais contígua e dominante, criando assim, um mosaico. Além disso, a matriz constitui um habitat para determinadas espécies e fornece um contexto ecológico, por essa razão, pode modular o grau de isolamento dos fragmentos (MORLÁNS, [s. d.]). É desse modo que se estabelece uma relação entre a conectividade da paisagem e a presença de habitat original em setores que rodeiam os fragmentos de habitat, sendo que ter matriz adjacente em ambos os lados do fragmento vai ser capaz de aumentar a conectividade (HERRERA, 2011;

PEREIRA *et al.*, 2007).

Por tanto, a fragmentação de habitat é o processo no qual uma grande área contínua de habitat é reduzida e dividida em dois ou mais fragmentos (PRIMACK *et al.*, 2001). Do mesmo modo, a fragmentação não só reduz a quantidade total de habitat disponível, mas também isola os habitats remanescentes. Esses fragmentos podem se considerar que atuam como “ilhas” tendo um efeito de borda que faz essa perda na paisagem e que separa um habitat do outro que está próximo (CROOKS; SANJAYAN, 2010; PÉRICO *et al.*, 2005). De fato, a fragmentação traz consequências negativas como interrupção de processos ecológicos, impedimento no movimento de organismos e isolamento de populações, efeito de borda, desertificação, erosão do solo, aumento de habitats vulneráveis, extinção de espécies, entre outros (CROOKS; SANJAYAN, 2010; PEREIRA *et al.*, 2007).

Essa fragmentação que leva a perda de conectividade, que não só afeta a área onde ocorre, senão que o dano ultrapassa nas outras regiões. As causas disso, podem ser muito variadas; em algumas ocasiões, a produção dos fragmentos é natural e a transição entre os fragmentos e os habitats não florestados pode ser de forma gradual (PÉRICO *et al.*, 2005), no entanto, a maioria dos casos tem relação com as transformações que causa o ser humano, entre as mais destacadas se encontram a extração de recursos naturais, construção de vias de comunicação e transporte terrestre, atividades agroflorestais e artificialização dos territórios principalmente para expansão urbana (PEREIRA *et al.*, 2007).

Como já tem sido mencionado, a perda de biodiversidade e o desequilíbrio dos ecossistemas têm levado a novas estratégias para melhorar a regulação e gerência da conservação, entre essas estratégias estão as já faladas APs , que são áreas geograficamente definidas que se destinam a contribuir para a conservação de espaços que tenham ou possam ter um ordenamento ecológico e paisagístico, que fornecem benefícios e serviços ambientais. Desse modo, o destino de muitas espécies ameaçadas, a preservação de ecossistemas saudáveis com alta riqueza genética e de espécies e a prestação de serviços ecossistêmicos depende das APs (SAURA *et al.*, 2017). SAURA *et al.* (2017) ressalta também a importância de reconhecer que as APs não podem ser concebidas e gerenciadas como “ilhas” isoladas de outras APs e do resto dos elementos da paisagem. Independentemente de que uma área seja indicada como protegida devido aos valores de biodiversidade local que apresenta, o declínio da biodiversidade dentro da APs pode ocorrer devido

as extinções produzidas pela ausência de conectividade com outras populações e habitats naturais.

Um dos cinco países com maior diversidade biológica a nível mundial é a Colômbia, a qual está comprometida com a proteção de suas APs através do Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) para contribuir como um todo ao alcance dos objetivos de conservação do país. Dentre esses objetivos podem se destacar a preservação, restauração e conservação dos ecossistemas naturais e sua produtividade, populações e habitats, coberturas vegetais, áreas e espaços naturais que contenham espécies silvestres ou grupos étnicos (COLÔMBIA, 2010).

Desta forma, o SINAP é o conjunto de áreas protegidas, classificadas em várias categorias definidas pelo Decreto 2372/2010, podem se agrupar em áreas protegidas públicas e privadas, sendo como observados na tabela 1:

Tabela 1. Classificação das áreas protegidas da Colômbia

Categoria de áreas protegidas	Definição	Número de áreas
Sistema de Parques Nacionais Naturais (SPNN)	É o conjunto de áreas com valores excepcionais para o patrimônio nacional, em benefício dos habitantes pelas suas características naturais, culturais e históricas.	60
Reservas Florestais Protetoras (RFP) Nacional e Regional	São um espaço geográfico onde os ecossistemas florestais mantêm a sua função, apesar de terem modificado a sua estrutura e composição e disponibilizado à população os valores naturais associados, esta área de propriedade pública ou privada é reservada para ser destinada ao estabelecimento ou manutenção e uso sustentável de florestas e outras coberturas vegetais naturais.	154
Parque Natural Regional (PNR)	Constituído por paisagens e ecossistemas estratégicos à escala regional, mantendo-se a sua estrutura, composição e função, bem como os processos ecológicos e evolutivos que os sustentam.	59
Distritos de Manejo Integrado (DRMI) Nacional e Regional	Espaço geográfico, no qual as paisagens e os ecossistemas mantêm a sua composição e função, embora a sua estrutura tenha sido modificada e cujos valores naturais e culturais associados sejam colocados à disposição da população humana para o seu uso sustentável, conservação, restauração, conhecimento aproveitamento.	126
Áreas de Recreio (AR)	Espaços geográficos em que as paisagens e ecossistemas estratégicos à escala regional mantêm a sua função, embora a sua estrutura e composição tenham sido modificadas.	10
Distritos de Conservação do	Esta área é delimitada para submetê-la a um	20

Solo (DCS)	manejo especial visando a recuperação de solos alterados ou degradados ou a prevenção de fenômenos que causem alteração ou degradação em áreas especialmente vulneráveis devido às suas condições físicas ou climáticas ou devido ao tipo de utilidade que é desenvolvido neles.	
Reserva Natural da Sociedade Civil (RNSC)	Área de uma propriedade que preserva uma amostra de um ecossistema natural e é gerida segundo princípios de sustentabilidade na utilização dos recursos naturais e que, por vontade do seu proprietário, são destinados a uso sustentável, conservação ou restauração.	1123

Fonte (COLÔMBIA, 2010; DÍAZ, 2015)

A Colômbia tem experimentado um extenso desmatamento e fragmentação de habitat nas últimas décadas, principalmente pela expansão agrícola, desenvolvimento de infraestrutura linear e cultivo ilegal, sem contar que são atividades com uma tendência à aceleração; entre alguns dos resultados mais relevantes desse extenso desmatamento está a deterioração da conexão entre alguns biomas, deixando poucas regiões dentro do país que mantêm e conectam o fluxo genético em larga escala e o intercâmbio de biodiversidade. Além disso, a nível mundial projeta-se que a mudança climática tornará alguns APs inabitáveis para muitas das espécies que nelas se encontram, forçando que se mudem para novos locais. Na ausência de conectividade nos APs, a individualidade das áreas pode se transformar em armadilhas climáticas sob o aquecimento, dificultando alcançar os objetivos de conservação de longo prazo. Em vista disso, a conectividade das APs, está no foco das preocupações da conservação da biodiversidade (CLERICI *et al.*, 2019; SAURA *et al.*, 2017).

A partir do anterior, alguns trabalhos feitos com foco na conectividade estrutural como é o trabalho realizado por RUSINQUE QUINTERO *et al.* (2022) no departamento de Caquetá onde identificou como a conservação ao redor das APs contribui na efetividade da conectividade, foi feito a análise de cinco sistemas planetários, sendo hidrosférico, atmosférico, geosférico, biosférico e antroposférico, onde das 13 APs localizadas no departamento 99% estão conectadas graças ao bom estado de conservação de um dos maiores Parques Nacionais da Colômbia (PNN Serranía de Chiribiquete), nessa pesquisa também se identificaram as APs desconectadas por diferentes fatores. Da mesma forma, no trabalho de PUEBLA *et al.* (2020) foi realizada uma proposta de conectividade na Sierra Maestra, na Cuba, onde

foram obtidas 186 rotas das quais 114 são atitudinais e 72 longitudinais, conectando varias APs e localizando 53 áreas de interesse para a conservação, com a metodologia usada foi possível identificar espaço viáveis para a conectividade e a planificação territorial. Na pesquisa de AGUDELO (2020) se remarca a importância da conectividade entre pântanos de Bogotá para o fluxo genético e energético, o que traz vantagens para os animais e plantas circundantes, além de gerar corredores ecológicos para a conexão das áreas.

Neste trabalho se pretende utilizar as APs da Colômbia registradas no SINAP, as quais sofrem de fragmentação e outras problemáticas que já foram apontadas, para identificar rotas potenciais de conectividade estrutural as quais podem servir como base para uma futura criação de planos de conservação e o aumento de conexão entre as áreas protegidas de Colômbia, por meio de um software SIG.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma proposta de potenciais rotas de conectividade para promover a conservação da biodiversidade entre áreas protegidas terrestres da Colômbia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os elementos dentro da classificação do uso e ocupação da terra da Colômbia que representam maior dificuldade para a conectividade.
- Elaborar um mapa com proposta de conectividade que indique as rotas de menor custo para conectar as áreas protegidas da Colômbia.
- Apresentar quais áreas protegidas tem maior conectividade e sua localização.

3 AREA DE ESTUDO E METODOLOGIA

A metodologia executada foi um levantamento de literatura e publicações científicas abordadas dentro desta área de investigação, seguindo umas etapas fundamentais como a seleção da área de estudo as quais são as APs terrestres da Colômbia, foi construída a superfície de custo na qual foram atribuídos pesos para cada classe de uso e ocupação da terra e por último, a criação das rotas de conectividade entre as APs terrestres da Colômbia por meio do uso de ferramentas SIG.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Colômbia se encontra localizada na América do Sul, faz fronteira terrestre com o Brasil, o Equador, o Panamá, o Peru e a Venezuela; e fronteiras marítimas com sete países no Mar Caribe (Nicarágua, Costa Rica, Haiti, Honduras, Jamaica, República Dominicana e Panamá) e três no Oceano Pacífico (Costa Rica, Equador e Panamá). O país conta com uma extensão territorial de 1.138.910 km². A Colômbia é dividida em seis regiões naturais (Figura 1). A região da Amazônia, localizada ao sul, sendo a maior região ocupando 40% do território com ecossistema principalmente úmido tropical; os Andes localizados no centro do país, a cadeia montanhosa atravessa o país de sudoeste a nordeste; a região Caribe abrange a costa atlântica ao norte; a região Insular sendo o conjunto de ilhas pertencentes ao país, a Orinoquia localizado a leste com sua característica savana; e o Pacífico localizado a oeste sendo a região mais úmida da Colômbia (JÁUREGUI SARMIENTO, 2021).

A investigação foi focada nas APs terrestres da Colômbia (Figura 2), com o objetivo de elaborar a proposta de conectividade entre elas, visando fazer um aporte para a conservação do país. As áreas que a Colômbia tem se encontram inscritas no Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP), onde até o momento existem 1552 APs , sendo que a proposta está enfatizada nas áreas terrestres, se trabalhou com um total de 1435 APs.

Figura 1. Regiões naturais da Colômbia

Fonte: (TodaColombia, 2010)

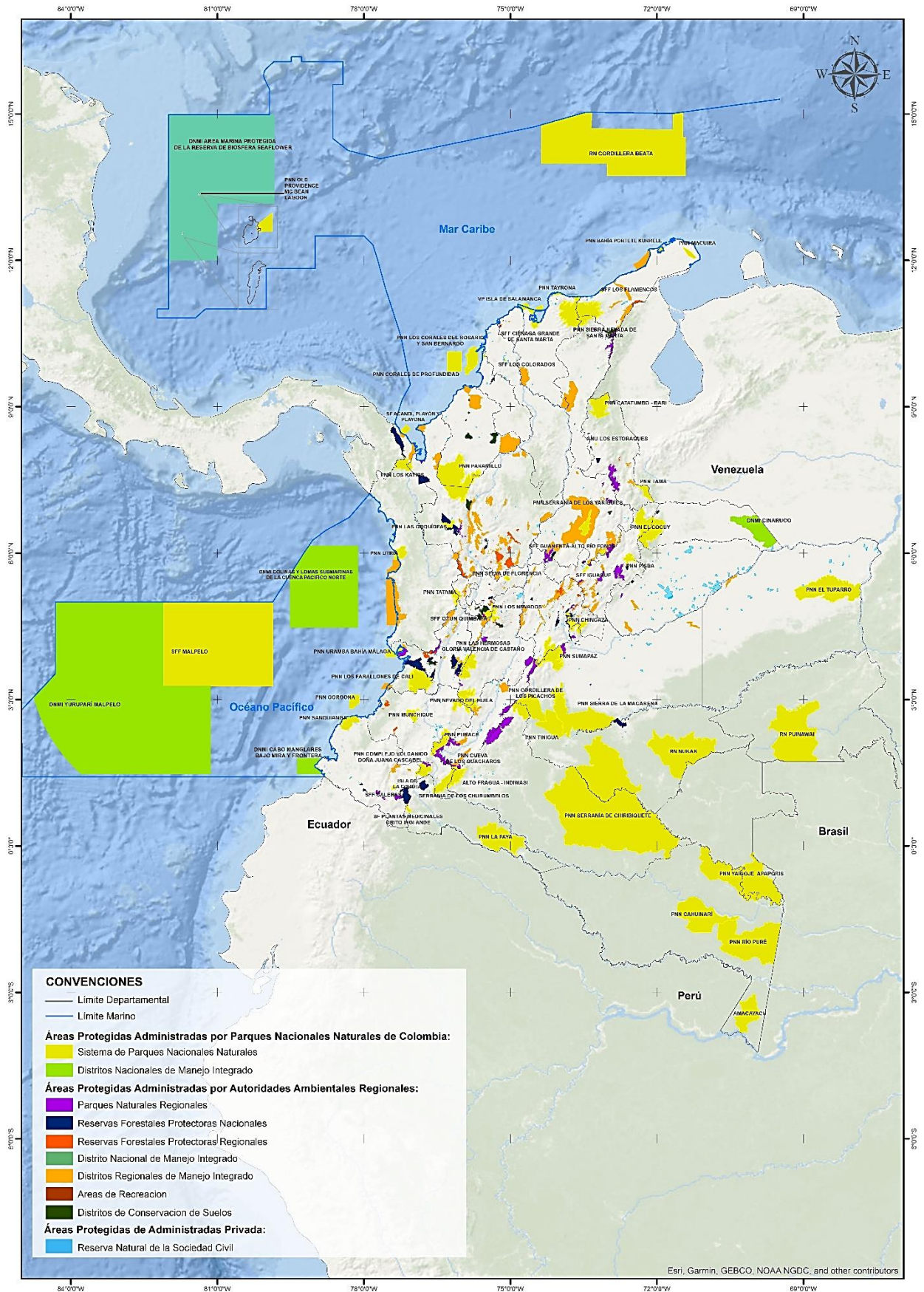
3.2 SUPERFÍCIE DE CUSTO

A superfície de custo ou fricção estabelece a dificuldade para realizar a conexão entre as APs, quer dizer, determina a resistência que vai ter o território para criar rotas nas quais, por exemplo, os indivíduos possam deslocar-se entre as áreas, nesse caso “custo” é entendido como os níveis de dificuldade para a mobilidade e acesso as diferentes áreas.

Para a realização da superfície foi escolhido o conjunto de classes que estão dentro da cobertura de solo da Colômbia, os elementos foram obtidos da base de dados ‘Colombia en mapas’ (<https://www.colombiaenmapas.gov.co/>) intitulado ‘Uso e ocupação da terra - Adaptação Corine Land Cover - República da Colômbia. Escala 1:100.000. Período 2018.’, aqui se inclui 47 categorias de classificação, de acordo ao Instituto de Hidrologia, Meteorologia e Estudos Ambientais (IDEAM).

A superfície de custo foi convertida em uma camada *ráster* para o seu posterior uso na criação do mapa de conectividade, para isso foi convertida no software ArcGIS 10 na interface de ArcMap, depois disso, nessa camada foi realizado um processo de reclassificação, ali foram atribuídos os valores de custo a cada uma das classes de acordo à resistência que cada categoria pode fornecer na matriz obtendo assim uma hierarquia nos dados, os critérios de atribuição de custos foi baseado na Legenda nacional de coberturas da Colômbia (IDEAM, 2010). Os valores de custo foram tomados da hierarquia proposta por RUSINQUE QUINTERO *et al.* (2022), na qual sugere uma hierarquia de 1 a 10 com quatro seções, sendo, 1-3 áreas com alta possibilidade de movimentação (Custo muito baixo); 4-5 movimentação moderada (Custo baixo); 6-7 áreas com dificuldade de fluxo (Custo alto), por último, 8-10 restrição na mobilidade (Custo muito alto).

Figura 2. Mapa das áreas protegidas da Colômbia de acordo ao SINAP.



Fonte: (PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA, [s. d.]

Na tabela 2 se encontram os pesos de 1 a 10 com os tipos de classes que foram reunidas para o delineamento metodológico. Essa atribuição de custos permite observar que dentro do peso 1 (custo muito baixo) corresponde ao maior fluxo de movimento dentro da matriz, são encontradas 4 classes, que representam florestas conservadas, com desenvolvimento natural sem ter uma alteração nas suas estruturas originais. Para o peso 2 e 3 (custos muito baixos), são encontrados os solos pantanosos e as pastagens onde a realização de práticas de manejo são escassas, por isso não apresentam nenhuma dificuldade alta para a movimentação. Respeito aos pesos 4 e 5 (custos baixos), que correspondem a uma movimentação moderada, são coberturas que já apresentaram alguma intervenção ou destruição em baixa proporção, mas também podem apresentar uma combinação com espaços naturais. No aumento da dificuldade de movimentação, os pesos 6 e 7 (custos altos), se identificam por ter coberturas onde os poucos espaços naturais são fragmentos pequenos no meio de intervenções de culturas, urbanizações ou são espaços aquáticos com eutrofização. No último nível da reclassificação que corresponde aos pesos 8, 9 e 10 (custos muito altos), com a maior dificuldade de movimentação, apresentam coberturas com alta fragmentação, terras degradadas, presença de assentamentos humanos contínuos com tudo o que isso leva, culturas permanentes, construções, infraestrutura de transporte, entre outros, além de apresentar também elementos naturais que dificultam a conexão; todos esses componentes obstaculizam o passo e conectividade entre as APs.

Tabela 2. Pesos atribuídos para as diferentes classes de cobertura da terra

PESO	CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA
1	Floresta densa; arbustivo; prados; galeria e mata ciliar
2	Turfeiras
3	Pastagens com pouco manejo
4	Vegetação secundária ou de transição; floresta aberta
5	Áreas pantanosas; mosaico de pastagens com espaços naturais
6	Mosaico de culturas com espaços naturais; vegetação aquática em corpos de água
7	Mosaico de culturas, pastagens e espaços naturais; áreas verdes urbanas
8	Mosaico de pastagens e culturas; pastagens limpas; lagoas, lagos e pântanos naturais; rios; pastagens; culturas transitórias; oleaginosas e leguminosas; pastagens limpas, árvores, mosaico de pastagens e culturas
9	Areias naturais; tecido urbano descontínuo; instalações recreativas; tubérculos

10	Floresta fragmentada; tecido urbano contínuo; aeroportos; zonas industriais ou comerciais; rede rodoviária, ferroviária e terrenos associados; sistema hidráulico; áreas de extração mineral; área de disposição de resíduos; cereais; culturas herbáceas, arbustivas, arbóreas, agroflorestais e confinadas permanentes; mosaico de culturas; afloramentos rochosos; terras nuas e degradadas; áreas queimadas; canais; corpos de água artificiais
----	---

Fonte: AUTORA, 2023.

3.3 CRIAÇÃO DE ROTAS DE CONECTIVIDADE

No software ArcGIS 10, na interface de ArcMap, para a criação dos mapas foram usados o *shapefile* das APs e a camada *ráster* da superfície de custo.

Foi usado o *shapefile* das APs encontrado no site de RUNAP (<https://runap.parquesnacionales.gov.co/cifras>) e nele foram excluídas as APs que não seriam utilizadas.

Inicialmente se realizou um mapa de custo de distância, com a ferramenta *Cost Distance* da extensão *Spatial Analysis*, com o fim de fazer um reconhecimento das áreas de maior acessibilidade na hora de criar a conectividade, por meio de uma escala de cores quentes representam as distâncias mais curtas e de menor custo para chegar em outro local e as tonalidades frias são as distâncias mais longas e de maior custo; esse custo é cumulativo dado pelo valor de cada pixel.

Em seguida, com a ferramenta *Cost connectivity* também da extensão *Spatial Analysis* se realizou o processamento dos dados, nessa ferramenta foi possível obter dois mapas, sendo o primeiro, o mapa de conectividade de menor custo onde se criou a proposta de conectividade marcando as rotas que unem as APs passando pelos pixels de menor custo possível. O segundo mapa é o mapa de conexões vizinhas, nesse é foi possível observar maior quantidade de rotas com diferentes características, mas que também contribui para o objetivo da conservação da biodiversidade.

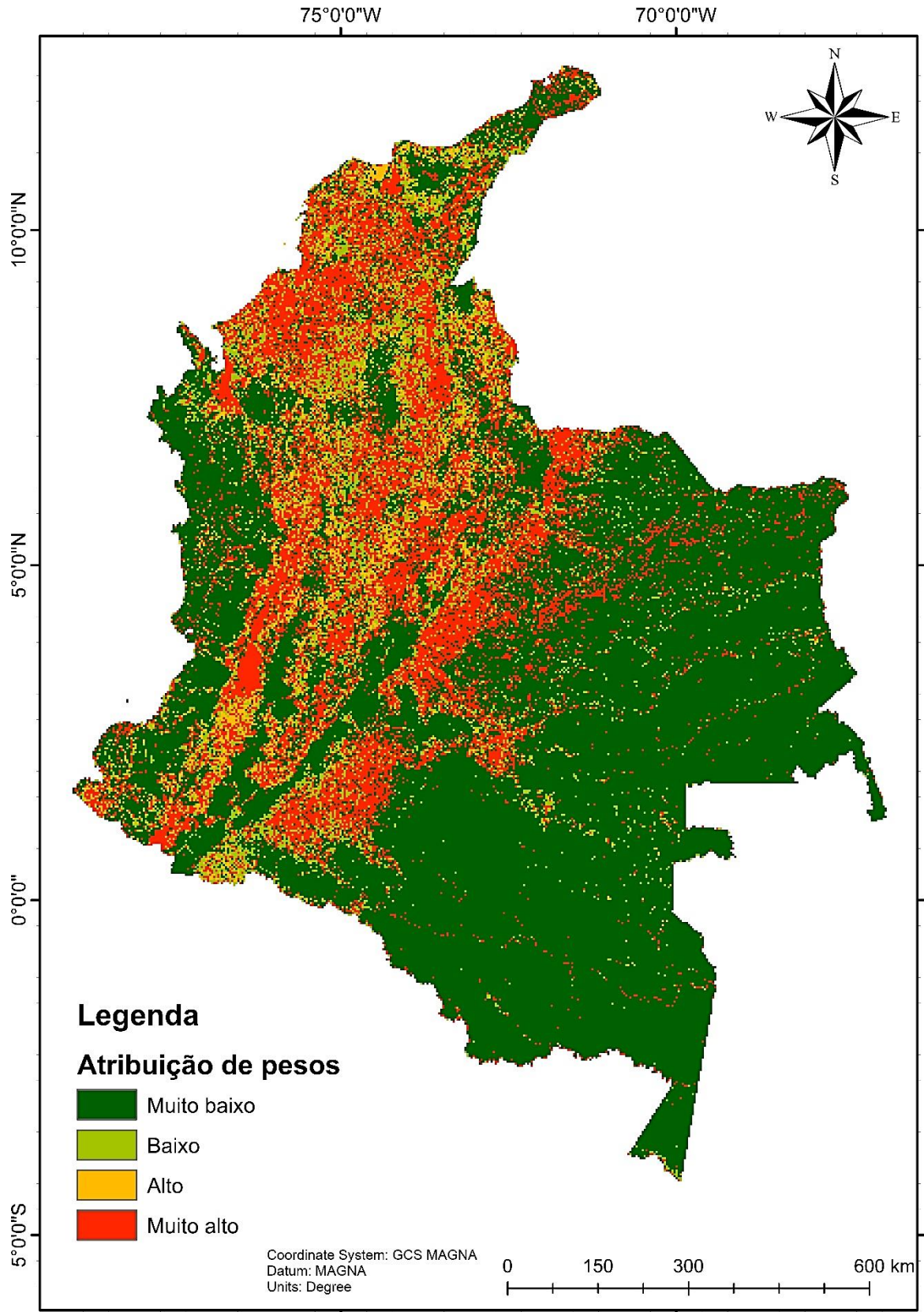
4 RESULTADOS

Entre os resultados obtidos, inicialmente, a reclassificação feita do uso e ocupação da terra permitiu identificar as classes que representam maior dificuldade para a conectividade a partir dos pesos atribuídos. Das 47 classes usadas para a atribuição dos custos (Tabela 2), os pesos 8 e 10 são os que mais classes reúnem, com uma porcentagem de 19,15% e 42,55% respectivamente, o que em total

com a soma do peso 9 (8,51%), faz com que seja o 70,21% de fricção muito alta, ali se encontram principalmente mosaicos de cultura e todos os elementos relacionados diretamente as modificações feitas para a realização das atividades humanas. Porém, o peso 1 que corresponde ao 8,51% das classes é o que tem o maior número de frequência de pixels distribuídos dentro da superfície de custo (Figura 3), sendo que está agrupando coberturas de maior extensão no território, ainda assim, fazendo um contraste com a localização das APs, esta classificação de peso possui menor quantidade de APs dentro dela. Os custos muito baixos correspondem ao 12,77% (inclui os pesos 2 e 3). Por outro lado, entre os pesos muito altos, o peso 8 coincide com a localização de um grande número de APs, por isso, é provável que seja o peso que maior incidência tem na dificuldade de passo para fazer a conectividade, seguido do peso 10.

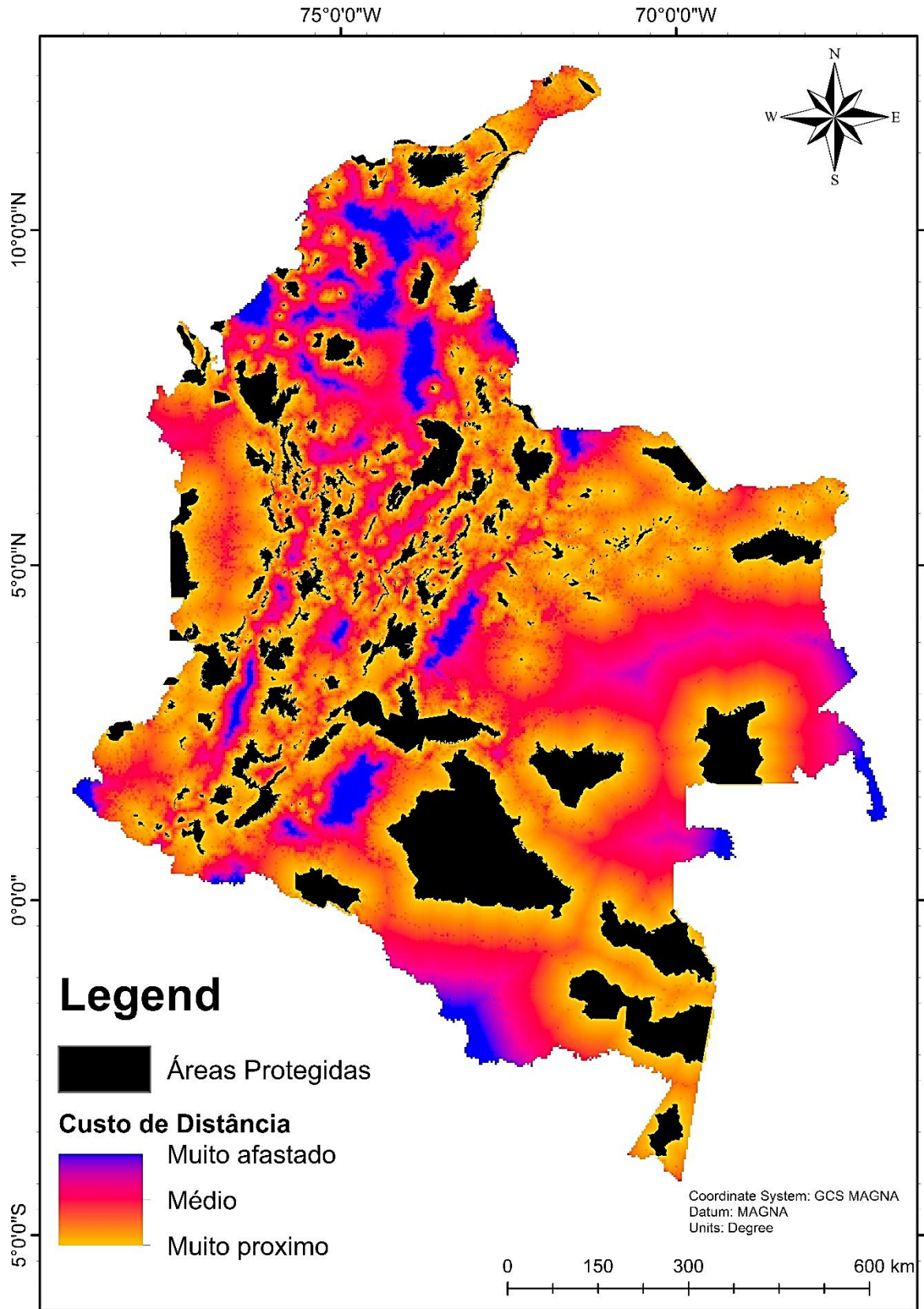
A figura 4 pertence ao mapa de distância de menor custo onde se observa que as áreas de cores quentes que estão mais perto das APs representam a distância que tem um menor custo de movimentação. Podia se esperar que a conectividade entre as APs de cada região natural tivesse uma distância de conexão menos custosa entre elas, talvez exceto para a região do Caribe onde se observa em maior proporção a presença de cores frias. Por outro lado, a conectividade inter-regional apresenta uma dinâmica diferente, entre as APs da Amazonia e as APs da região da Orinoquia e dos Andes no mapa se apresentam mais tonalidades frias o que indica que a dificuldade de conectividade entre essas áreas vai ser de maior custo, da mesma forma que acontece entre as APs dos Andes com as APs da região do Caribe e do Pacífico (figura 1).

Figura 3. Mapa de distribuição de pesos



Fonte: AUTORA, 2023

Figura 4. Mapa de custo de distância.



Fonte: AUTORA, 2023

A partir do anterior, a modelação da proposta de conectividade apresentada na figura 5, coincide com as áreas de distância de menor custo observadas na figura 4, o que favorece a passagem das rotas, de essa forma, a superfície de custo vai fazer com que as rotas sinalizadas realmente apresentem áreas de deslocamento de menor custo para a conectividade entre as APs, cabe destacar que neste trabalho só são consideradas as distancias horizontais, pois a classes do uso e cobertura da terra não todas tem uma distância vertical, porém, para futuras investigações é importante ter em conta esse fator para fazer ainda uma proposta mais completa.

Para o anterior, o ArcGIS faz a procura dos pixels com menor peso com a intenção de fazer as conexões, nesse caso, de não ser possível achar custos baixos ou custos altos mais com distancias curtas, a conexão não é feita. Na figura 6 podem ser observar alguns exemplos de como atua o software, (A) se observa como as conexões de menor custo geralmente ocorrem entre APs próximas, (B) a conectividade que ocorre é de custo médio, em geral ocorre entre APs não tão afastadas, podendo passar por custos altos, por último, (C) as conexões ocorrem entre APs afastadas tentando passar pelos pixels que possuem menor custo. Dentro da conexão, o software interpreta a melhor forma de conectar as variáveis, sendo possível conectar várias rotas desde o centro da área ou pelas bordas, isso é escolhido pelo software.

A continuação na tabela 3, se apresentam os custos totais acumulativos (dado pelo algoritmo de ArcGIS) usados para a construção das rotas sobre a superfície de custo. Os caminhos que estão com um custo acumulativo total na menor faixa de 0,01 a 0,09, com 134 rotas, pertencem ao segundo maior número de rotas criadas, o que indica que uma parte importante das APs podem ser conectadas com custos muito baixos, o que favorece os planos de conservação no futuro, porém, demonstra como o índice de território com perturbações é maior do que áreas sem pouca ou nula transformação. A faixa entre 0,1 e 0,9 apresentou o número mais alto de rotas formadas sendo 278, essas rotas em sua grande maioria passam pelos custos altos e muito altos, além de ser formações com distancias mais longas o que aumenta o custo, porém, que seja a faixa com maior número de caminhos, mostra como ainda é possível que no meio de toda a fragmentação e solos modificados haja grande chance de criar uma rede de conexões, sendo que também inclui todas as regiões do território; por outro lado, os custos na faixa de 1 a 1,99 com 18 rotas e a

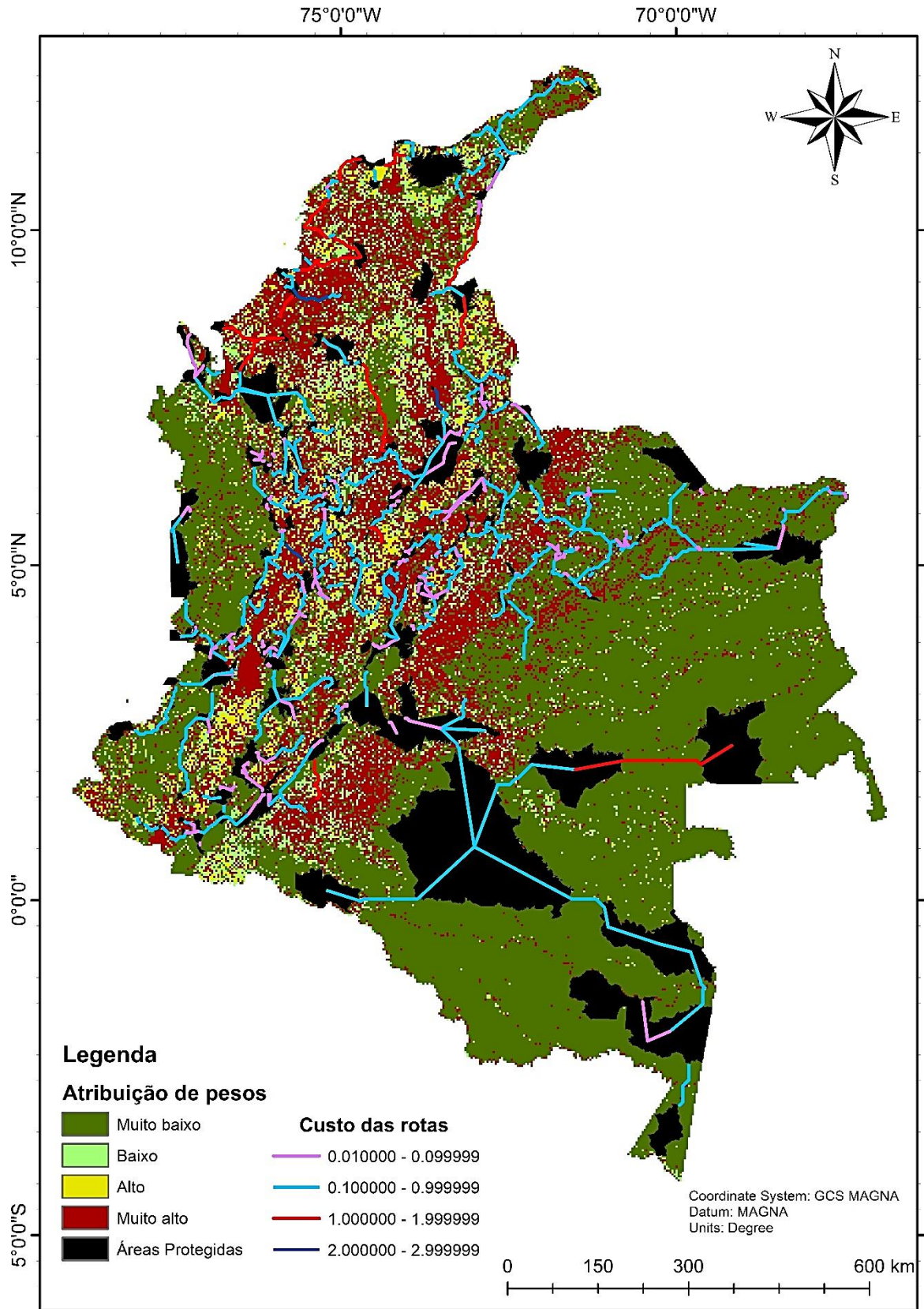
faixa de 2 a 2,99 que apresentou o menor número de rotas sendo 3 em total, mostra que ainda tendo a dificuldade maior é viável fazer algumas conexões que podem ajudar na manutenção do bem-estar ecológico do país.

Tabela 3. Custo acumulativo das rotas do mapa de conectividade

Custo acumulativo	Nº rotas
0,01 - 0,09	134
0,1 - 0,9	278
1 - 1,99	18
2 - 2,99	3

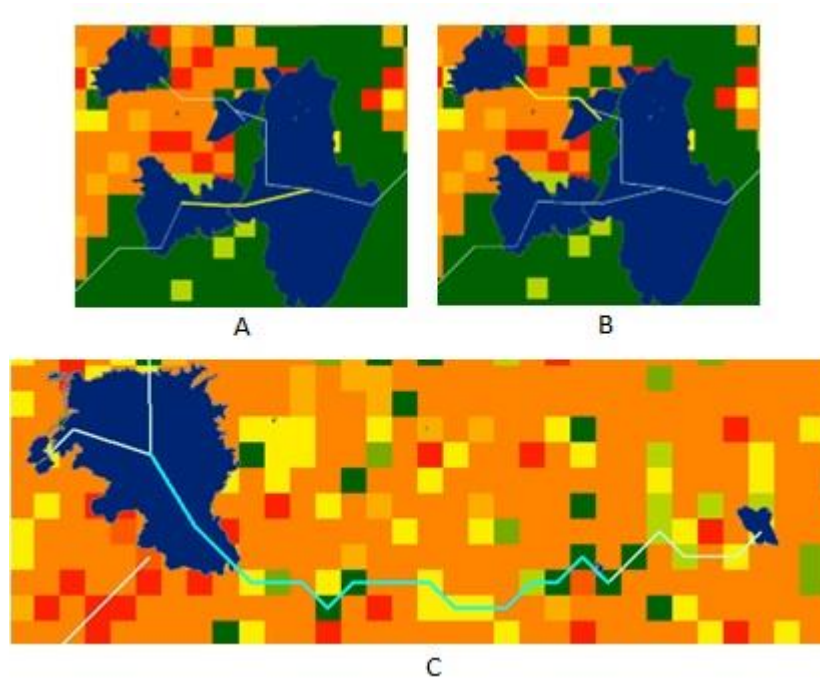
Fonte: AUTORA, 2023

Figura 5. Mapa de conectividade



Fonte: AUTORA, 2023

Figura 6. Exemplos de como é feita a conexão entre as APs, com diferentes distâncias entre as áreas e pesos circundantes.



Fonte: AUTORA, 2023

Sendo assim, sobre a superfície de custo (figura 3) puderam ser obtidas um total de 433 rotas de conectividade de menor custo. Nessas rotas, se identificam duas regiões para fazer a conexão, sendo a região de entrada a área inicial para começar uma rota, levando em conta isso, foram usadas 311 APs; e a região de saída que é a área onde finaliza a conexão, o número de áreas que foram conectadas foi menor, 210 APs, isso mostra a alta fragmentação dos habitats diminuindo a mobilidade na matriz fazendo com que muitas APs fiquem sem possibilidade de conectividade pelo menos com um custo baixo.

Em adição, se observou que as APs com o maior número de rotas que chegaram nelas são o Parque Nacional Natural (PNN) Chingaza, DRMI Serrania de Los Yariques, PNN Las Herosas – Gloria Valencia de Castaño Andes, todas as APs anteriores localizadas na Região dos Andes e o PNN Sierra Nevada de Santa Marta localizado na região do Caribe.

Por outro lado, as APs como regiões de entrada com maiores rotas foram DRMI San Miguel, o PNR Cerro La Judia e a RFPR Playas na região dos Andes.

No mapa de conexões vizinhas (figura 7), foram obtidas 1014 rotas, sendo maior o número de rotas que funcionam como alternativas de conexão devido

a que as uniões se fazem com os vizinhos mais próximos e avalia todas as possíveis conexões que podem ser feitas entre as APs considerando custos um pouco mais altos. Neste mapa também pode se observar maior número de faixas quanto ao custo na formação das rotas, sendo que o maior número de rotas está na faixa entre 0,1 e 0,9, onde se obtiveram 595 rotas, e o menor número na faixa entre 4 e 4,99 com 4 rotas, o restante de valores estão distribuídos entre as outras quatro faixas como se apresentam na Tabela 4. Ao igual como aconteceu com os valores do mapa da proposta de conectividade (figura 5), as faixas com custos baixos construíram o maior número de rotas, apresentando opções de enlaçar mais APs nas diferentes partes da matriz e com toda a variedade de pesos da superfície de fricção, ainda nos custos mais altos se tem mais possibilidades de conseguir esboçar rotas, o que beneficia a conectividade das APs que ficam afastadas.

Tabela 4. Custo acumulativo das rotas do mapa de conexões vizinhas

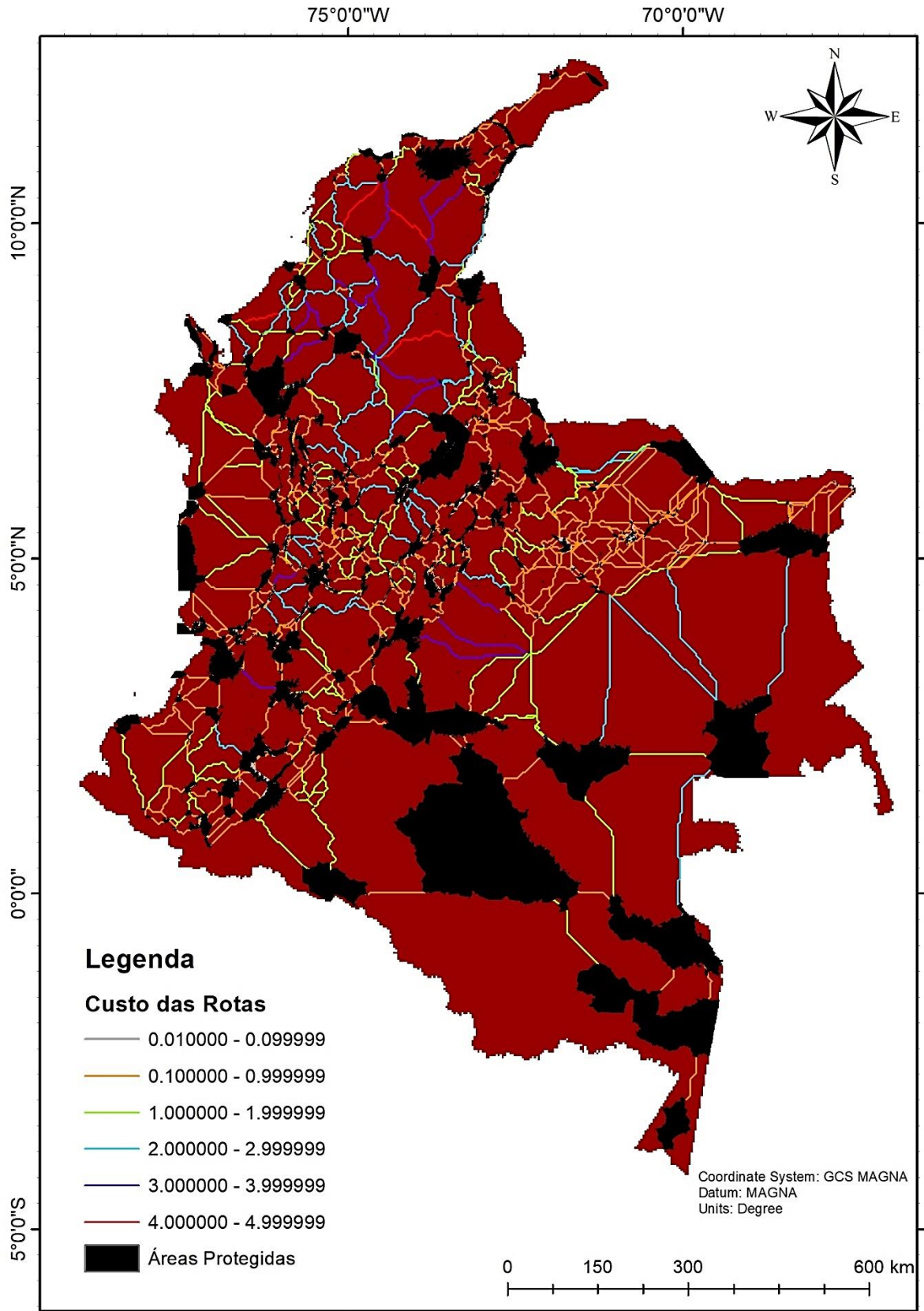
Custo acumulativo	Nº rotas
0,01 - 0,09	182
0,1 - 0,9	595
1 - 1,99	157
2 - 2,99	60
3 - 3,99	16
4 - 4,99	4

Fonte: AUTORA, 2023

As APs com maiores rotas de entrada foram RN Puinawai na Amazonia, RNSC Campoflorido e RNSC Las Brisas na Orinoquia.

De acordo as informações anteriores, se observou que as APs com o maior número de rotas que chegaram nelas são PNN Sierra Nevada de Santa Marta, RFPN Serrania de Coraza y Montes de Maria, PNN Paramillo no Caribe; RFPN Rio Anchicaya e RNSC El Milagro no Pacífico; PNR Santurbán Arboledas, DRMI Macizo El Tablazo, PNN Las Hermosas – Gloria Valencia de Castaño, DRMI Cuchilla Del San Juan, DRMI Cuenca Alta del Rios Quindio de Salento, DRMI Serrania de los Yariguies, PNR Guacharos Puracé, PNN Chingaza, PNN El Cocuy e PNN Sumapaz nos Andes; RNSC Charanga y Buenavista, RNSC Estero Matemarrano e PNN El Tuparro na Orinoquia.

Figura 7. Mapa de conexões vizinhas



Fonte: AUTORA, 2023

5 DISCUSSÃO

O uso e ocupação da terra de acordo ao IDEAM (2012) descreve os elementos encontrados sobre a terra, podendo ser: tipos de vegetação, superfícies terrestres (como afloramentos rochosos) ou elementos antrópicos. Essa cobertura em sua maioria sofre processos de mudanças devido a fatores relacionados principalmente a antropização, que incluem o aumento da população, indústria e agricultura que por consequência leva ao aumento da fragmentação dos ecossistemas causando alterações nas diferentes dinâmicas que acontecem ali, ocasionando perda da biodiversidade (LEIJA; MENDOZA, 2021).

No mapa de custo (Figura 3), se observa como a distribuição dos pesos de maior valor tem uma concentração nas cordilheiras dos Andes e a região Caribe, essa dinâmica de mudanças na cobertura de acordo a RAMIREZ; ORREGO (2015) coincide com a entrada da globalização nos anos 90 se deixou de lado os sistemas de agricultura tradicionais e houve um aumento na migração rural para o urbano, da mesma forma que as práticas de uso da terra fizeram que ocorrera uma expansão das pastagens e a fronteira agrícola, trazendo consigo os sistemas pecuários, construção de vias, maior demanda de madeira, entre outros, o que por serem atividades que transformam as áreas geram a impedância na conectividade; dessa forma, também produzem maiores processos de degradação e fragmentação das florestas.

Por outro lado, RAMIREZ; ORREGO (2015) afirmam que no período entre 1997 e 2012 se apresentou uma expansão da cobertura florestal (peso 1) devido ao abandono de terras agrícolas, porém, muitas dessas regiões correspondem a territórios vítimas do conflito armado na Colômbia que fizeram com que ocorreram deslocamentos forçados deixando livre as terras e acrescentaram a densidade populacional nas áreas urbanas e periurbanas. De acordo a MORALES (2017), houve uma sobreposição entre áreas de conflito e áreas de alto valor biológico, o que inclui algumas das APs no meio, isso trouxe que houvesse danos ambientais em algumas áreas por conta das atividades ilegais, mas também dificultou o acesso a muitos lugares, o que promoveu a conservação de muitos territórios. A maioria das áreas localizadas no peso 1 na figura 3 correspondem a zonas de alto conflito, talvez por essa razão o número de APs nessas zonas é menor, dizendo respeito aos lugares que apresentam os maiores pesos, porém, possuem uma extensão mais ampla.

Seguindo a linha de raciocínio anterior, o maior número de APs da Colômbia se encontram na categoria de RNSC, no entanto com área muito menor, se nas áreas de peso 1 existe menos ocupação antrópica, vai se encontrar também menor número de APs por conta de ter menos número de APs na categoria antes mencionada; nesse contexto, também além de maiores assentamentos humanos nos lugares de maiores pesos, também pode se encontrar maiores esforços de conservação por parte das pessoas que possuem terras com valores biológicos e ecossistêmicos consideráveis, por isso as propriedades privadas como RNSC são de alta importância para a conservação.

Com base nos pesos atribuídos, o mapa de distância (figura 4) apresenta algumas áreas de possível desconexão ou conexão muito custosa, entre esses espaços se encontram as regiões da Amazonia e a Orinoquia respeito aos Andes. As conexões mais custosas nesses territórios se localizam em uma zona de transição entre o sistema montanhoso e a selva úmida tropical o que constitui características representativas ao ecossistema, por essa mesma razão, tem passado por dinâmicas extrativistas, pecuárias, agrícolas, plantações ilícitas de coca, pressões antrópicas, desmatamento, entre outras atividades (RUSINQUE QUINTERO *et al.*, 2022) que fazem com que haja uma expansão no problema da fragmentação e perda de biodiversidade, além disso, a erosão e degradação do solo vão evitar uma restauração rápida dos ecossistemas o que leva a um maior custo de conectividade entre as APs afetadas.

Como pode ser observado na figura 4, as APs localizadas na região Caribe do país apresentam um significativo afastamento das APs com as quais poderiam fazer uma conexão devido ao alto custo de movimentação que se identifica na área, os ecossistemas dessa região mesmo tendo uma ampla oferta ambiental são uns dos mais afetados pelas transformações da terra nos quais em muitos casos são irreversíveis, além disso, por conta dessas alterações, a região se vê ainda mais afetada pelos impactos dos fenômenos naturais (GÓMEZ, 2013).

Segundo GÓMEZ (2013) essas problemáticas geram a urgência de criar políticas fortes para a conservação e proteção das APs fortalecendo a conectividade estrutural na escala local e regional, como já tem sido mencionado, não é suficiente só ter as APs para a conservação, é necessário reforçar dita conectividade, o que tem que ser aplicado no país inteiro. Igualmente em outras regiões, como no Pacífico, que como mencionam SALAMANCA e PEÑARANDA

(2013) é a segunda maior reserva de recursos naturais na Colômbia, também passa por dificuldades relacionadas a alterações nos ecossistemas por causa da alta densidade populacional, que além de tudo, é uma das mais pobres o que leva também ao apoio ao extrativismo gerando a perda de diferentes componentes da biodiversidade, isso aumenta pontos de desconexão com o resto de APs próximas, por essa razão uma das estratégias de conservação nessa área deve estar relacionada as APs e suas interconexões. Do mesmo modo, as situações mencionadas anteriormente acontecem nas restantes regiões do país; de acordo ao informado pelo INSTITUTO HUMBOLDT (2020) até o 2020 na zona de transição que compartilham os Andes, a Amazonia e a Orinoquia, tem sido degradadas 100.000 hectares da floresta, isso em parte causa a impedância da conectividade entre essas regiões assim como se observa na figura 4, o que faz que estejam em risco a conservação de muitas espécies que estão ameaçadas, daí a necessidade de intervir com diferentes ações de planejamento sistemático.

Todo o mencionado anteriormente faz com que seja uma necessidade a proteção das APs , que com todas as transformações que acontecem ao redor também chegam a sofrer efeito de borda trazendo ainda mais diminuição da área. É por isso que a conectividade é fundamental como uma forma de ajudar ao fluxo dos processos que suportam a vida, isso, devido a que os ecossistemas podem realizar suas funções, os animais têm livre movimento com o qual podem reproduzir-se, encontrar alimentos, proteção, entre outros. Tendo uma alta conectividade entre as APs vai ser muito mais fácil ter acesso aos recursos, evitando afastamento de comunidades e degradação dos ecossistemas (WWF, [s. d.]). Dentro da proposta de conectividade (figura 4), se pode identificar como encontrar rotas que sejam de baixo custo para conectar diferentes APs é um pouco mais difícil pois o solo apresenta muitas transformações, como diz RUSINQUE QUINTERO *et al.* (2022) a redução da conectividade por causa dos efeitos negativos na paisagem são cumulativos e lentos, o que expõe a forte problemática da fragmentação nos ecossistemas do país faz décadas, além disso, como se menciona em HILTY *et al.*, (2021) as APs que se localizam nas áreas principalmente dominadas pelo humano podem ter maior dificuldade de conexão entre elas pois vão ficar mais afastadas, porém, é possível notar na figura 4, que na região dos Andes, local onde tem as coberturas com mais custo, também existe uma boa parte de conexões de meio custo (0,1 até 0,9) como se percebe na tabela 3, a conectividade, por exemplo, no meio de sistemas agrícolas

ou muito fragmentados é vital para diferentes espécies que usam distintos habitats para seu desenvolvimento (HILTY *et al.*, 2021).

Entre outros aspectos, o tamanho da área pode influenciar na efetividade da conectividade, em geral os PNN e DRMI são as APs de maior tamanho, mas estão em menor número no caso dos PNN, de acordo a HILTY *et al.* (2021) muitas vezes as APs grandes não tem a capacidade satisfatória para manter as espécies, porém, com as modificações sofridas pelos ecossistemas não é possível ter áreas o suficientemente grandes, pelo que só existem fragmentos pequenos, como é o caso das RNSC que mesmo talvez não tendo a idoneidade para manter animais, são essenciais como áreas mediadoras para grandes conexões.

Sendo a RNSC a categoria com o maior número de áreas protegidas, isso indica o compromisso por parte da sociedade civil para com os ecossistemas, como foi dito no II Simpósio de Conectividade Ecológica, as rotas de conectividade também podem ser respostas à perda de habitat por parte das comunidades, pois muitas delas desenvolvem iniciativas com o fim de aumentar a conexão entre os ecossistemas, cultura e segurança alimentaria (FAO, 2020) o que é muito importante pois bem se sabe que é necessária fazer uma conciliação entre o ser humano e o ambiente que o rodeia o qual está muito transformado pelas mesmas ações antrópicas.

Acrescenta-se ao anterior, que a proposta de rotas de conectividade apresentada neste trabalho foi feita de jeito meramente estrutural, porém, essas rotas devem ser compatíveis com as comunidades para a construção de um território digno para todos. Nas conexões vizinhas (figura 7) se observa que a RNSC possui grande importância na conectividade como parte indispensável das interconexões com as demais APs e como áreas de começo e final de rotas. Segundo os dados apresentados pelo AREIZA *et al.* (2018) mostram como as APs regionais como DRMI, PNR, RFP e as RNSC fornecem o 21% da conectividade de todo o sistema a pesar de ter uma extensão de 13%, sendo que só o 42% das APs de todo o país estão conectadas, isso expõe a importância de todas as APs independente do seu tamanho; no caso dos mapas de conectividade apresentados no trabalho, constata-se como cada categoria de APs fornece áreas tanto de entrada como de saída para as rotas o que ajuda significativamente na conectividade estrutural.

Na Colômbia, segundo dados do Instituto Humboldt (SUÁREZ-CASTRO *et al.*, 2020) para atingir a meta de 30% de área protegida no país é

necessário acrescentar a conectividade estrutural, para isso, é fundamental ter em conta não só as APs , senão também as chamadas Outras Medidas Efetivas de Conservação (OMEC) baseadas na área onde se propõem áreas complementarias de conservação que são áreas delimitadas, porém, não são APs , mas fornecem ações de proteção, tendo o anterior em consideração, existem alguns lugares no mapa de conexões vizinhas (figura 6) onde se identificam espaços de interconexão que poderiam ter grande importância, essas áreas de travessia entre várias rotas podem ser marcadas como áreas de interesse pois podem manter ao longo prazo a conectividade e a sua vez podem ser acrescentadas em propostas de planejamento territorial, alargamento de algumas APs, etc. (PUEBLA *et al.*, 2020). Com isso, a proposta de conectividade não é só boa para unir duas ou mais áreas, senão também para fornecer opções de novos espaços para conservação e fortalecimento no cuidado da biodiversidade na Colômbia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os usos e coberturas da terra que maior representatividade tem na impedância da conectividade, em sua grande maioria estão relacionadas com as atividades humanas, entre elas se encontram, construções urbanas, vias de transporte terrestre, culturas permanentes, isso, por conta do aumento na densidade populacional e também pelas dinâmicas industriais e sociais que apresenta a Colômbia.

O mapa de distância de menor custo faz a representação das áreas que podem ter maior ou menor facilidade para se conectar de acordo a distância que estejam uma da outra, geralmente, as APs mais próximas vão ter a possibilidade de fazer a conectividade menos custosa, porém, depende das condições nas que se encontrem dentro da superfície de custo, no caso das APs que se encontram na região Caribe possuem maior dificuldade de conexão dado pela degradação dos ecossistemas que se encontram ali, ao igual que as APs da região dos Andes. Por outro lado, também existe um alto grau de desconexão entre áreas de transição de habitats, onde geralmente tem um índice de biodiversidade alto a qual se vê diretamente afetada. Por essa razão, na proposta de conectividade se faz importante os diferentes custos acumulados, se bem é satisfatório a quantidade de rotas que podem ser feitas de baixo custo e que abrangem muitas APs, também é importante

observar como ainda é possível estabelecer conexões de custo alto que unem áreas que podem ter possibilidade de um fluxo importante de populações.

As APs são elementos essenciais para a proteção da biodiversidade em todo o mundo, porém, com a constante transformação dos ecossistemas, mudanças climáticas e distintas problemáticas ao redor, vem se observando que a presença dessas áreas talvez não seja suficiente para cobrir todas as necessidades de conservação. É por isso, que a abordagem que pode ser dada à conectividade é muito importante e deve ser estudada com maior profundidade. A realização deste trabalho faz evidente como a conectividade é um elemento importante nas paisagens vulneráveis para manter os processos ecológicos e a mobilidade de populações entre diferentes habitats, as pesquisas que tenham o foco nesse tópico podem chegar a ser chave no planejamento territorial do país, podendo ajudar na identificação de novas áreas de proteção, priorização de áreas, criação de corredores ecológicos, etc.

Na Colômbia, de acordo a FAO (2020) uma nova proposta de política do SINAP estaria relacionada a conectividade estrutural com o que esperam que mais instituições e comunidades se apropriem do tema e façam parte dos trabalhos de planejamento e conservação entre as APs. É essencial estabelecer como meta esse tipo de propostas pois são fundamentais já que envolver a comunidade faz com que se crie consciência coletiva e territórios sustentáveis, onde pode ser controlado o avanço das alterações feitas por parte do homem no uso e ocupação da terra e possa ser restaurada a funcionalidade dos ecossistemas.

REFERÊNCIAS

AGUDELO, M. **La importancia de la conectividad ecológica entre los humedales de Bogotá, Distrito Capital**. 2020. 1–9 f. Bogotá D.C 2020.

AREIZA, A.; CORZO, G.; CASTILLO, L. .; MATALLANA, C.; CORREA AYRAM, C. A. **Áreas protegidas regionales y reservas privadas: las protagonistas de las últimas décadas** . [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2018/cap3/303/#seccion5>. Acesso em: 31 maio 2023.

CLERICI, N.; SALAZAR, C.; PARDO-DÍAZ, C.; JIGGINS, C. D.; RICHARDSON, J. E.; LINARES, M. Peace in Colombia is a critical moment for Neotropical connectivity and conservation: Save the northern Andes–Amazon biodiversity bridge. **Conservation Letters**, [s. l.], v. 12, n. 1, 2019.

COLÔMBIA. **Decreto 2372 de 2010**. Por el cual se reglamentan normas orgánicas de presupuesto y del plan nacional de desarrollo. 2010. Disponível em: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=39961>. Acesso em: 10 dez. 2022.

COSTA, R.; MELLO, R. Um panorama sobre a biologia da conservação e as ameaças à biodiversidade brasileira. **Sapiens**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 50–69, 2020.

CROOKS, K. R.; SANJAYAN, M. Connectivity conservation: maintaining connections for nature. *In*: CONNECTIVITY CONSERVATION. [S. l.]: Cambridge University Press, 2010. p. 1–20. Disponível em: www.cambridge.org.

DÍAZ, S. M. G. **Detección de cambio en las unidades ecobiogeográficas continentales del Sistema Nacional de Áreas Protegidas - SINAP. Periodo 2002-2009**. 2015. - Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas, Bogotá D.C 2015. Disponível em: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4576/DiazGomezSandraMilena2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 dez. 2022.

FAO. **Impulsos de conectividad en Colombia: II Simposio Conectividad Ecológica, como herramienta para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/ru/c/1304010/>. Acesso em: 28 nov. 2022.

GÓMEZ, M. R. Perfil Ambiental De La Región Caribe Colombiana. **Economía & Región**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 193–220, 2013.

HERRERA, J. M. El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad en hábitats fragmentados. De la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación. **Ecosistemas**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 21–34, 2011.

HERRERA, B.; FINEGAN, B. La planificación sistemática como instrumento para la conservación de la Biodiversidad: experiencias recientes y desafíos en Costa Rica. **Recursos Naturales y Ambiente**, [s. l.], n. 54, p. 4–13, 2008. Disponível em: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3048e/A3048e.pdf>.

HILTY, J.; WORBOYS, G. L.; KEELEY, A.; WOODLEY, S.; LAUSCHE, B.; LOCKE, H.; CARR, M.; PULSFORD, I.; PITTOCK, J.; WHITE, J. W.; THEOBALD, D. M.; LEVINE, J.; REULING, M.; WATSON, J. E. M.; AMENT, R.; TABOR, G. M. Lineamientos para la conservación de la conectividad a través de redes y corredores ecológicos. **UICN**, [s. l.], 2021. Disponível em: www.iucn.org/pa_guidelines. Acesso em: 30 maio 2023.

IDEAM. **Coberturas de la tierra**. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>. Acesso em: 18 maio 2023.

IDEAM. **Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000**. [S. l.: s. n.], 2010. 2010.v. TH-62-04-1.

INSTITUTO HUMBOLDT. **Deforestación pone en riesgo conectividad ecológica del piedemonte amazónico, una de las regiones más biodiversas del planeta**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <http://www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1549-deforestacion-pone-en-riesgo-conectividad-ecologica-del-piedemonte-amazonico-una-de-las-regiones-mas-biodiversas-del-planeta>. Acesso em: 25 maio 2023.

JÁUREGUI SARMIENTO, D. **Las seis regiones de Colombia y sus características culturales**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.senalcolombia.tv/general/regiones-de-colombia-caracteristicas>. Acesso em: 31 maio 2023.

JONES, P. G.; BEEBE, S. E.; TOHME, J.; GALWEY, N. W. The use of geographical information systems in biodiversity exploration and conservation. **Biodiversity & Conservation** **1997** **6:7**, [s. l.], v. 6, n. 7, p. 947–958, 1997. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1018311513176>. Acesso em: 1 dez. 2022.

LEIJA, E.; MENDOZA, M. Estudios de conectividad del paisaje en América Latina: retos de investigación. **Madera y Bosques**, [s. l.], v. 27, 2021. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61766374002>. Acesso em: 18 maio 2023.

MARGULES, C. R.; PRESSEY, R. L. Systematic conservation planning. **Nature**, [s. l.], v. 405, n. 6783, p. 243–253, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/240311286_Systematic_Conservation_Planning. Acesso em: 1 dez. 2022.

MORALES, L. La paz y la protección ambiental en Colombia: Propuestas para un desarrollo rural sostenible. **Lorenzo Morales**, [s. l.], p. 36, 2017.

MOREIRA, A. Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. **Ambiente y Desarrollo**, [s. l.], v. XII, n. 2, p. 80–86, 1998.

MORLÁNS, M. C. **Estructura del paisaje (Matriz, parches, bordes, corredores) sus funciones fragmentación del habitat y su efecto borde**. [S. l.]: Editorial Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca, [s. d.].

NETO, P. L.; LOYOLA, R. D. Biogeografia da conservação. In: ROCA (org.). **Biogeografia da América do Sul: analisando espaço, tempo e forma**. 2. ed. São Paulo: [s. n.], 2016. p. 168–179.

PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA. **Mapa -SINAP**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.parquesnacionales.gov.co/porta/es/sistema-nacional-de-areas-protegidas-sinap/mapa-sinap/>. Acesso em: 10 dez. 2022.

PEREIRA, M.; NEVES, N.; FIGUEIREDO, D. Considerações sobre a fragmentação territorial e as redes de corredores ecológicos. **Geografia (Universidade Estadual de Londrina)**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 5–24, 2007.

PÉRICO, E.; CEMIN, G.; DE LIMA, D. F. B.; REMPEL, C. **Efeitos da fragmentação de habitats sobre comunidades animais: utilização de sistemas de informação geográfica e de métricas de paisagem para seleção de áreas adequadas a testes**. Goiânia, Brasil: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005.

PRIMACK, R.; ROZZI, R.; FEISINGER, P.; DIRZO, R.; MASSARDO, F. **Fundamentos de conservación biológica. Perspectivas latinoamericanas**. 1. ed. México D. F.: Fondo de Cultura Económica, 2001. 2001. Disponível em: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>.

PUEBLA, A. R.; RODRÍGUEZ CUETO, Y.; ÁLVAREZ-AMARGOS, P. M. Propuesta de rutas de conectividad para la conservación de la biodiversidad en Sierra Maestra, Cuba. **Revista de Ciencias Ambientales**, [s. l.], v. 54, n. 2, p. 51–67, 2020. Disponível em: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-38962020000200051&lng=en&nrm=iso&tlng=es. Acesso em: 11 dez. 2022.

RAMIREZ, C.; ORREGO, S. Trayectorias de cambios en coberturas terrestres en una cuenca de los Andes colombianos: río Grande, 1986-20121. **Journal of engineering and technology**, [s. l.], v. 4, p. 32–49, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Sergio-Orrego/publication/342820386_Trayectorias_de_cambios_en_coberturas_terrestres_en_una_cuenca_de_los_Andes_colombianos/links/5f078d76a6fdcc4ca459ea15/Trayectorias-de-cambios-en-coberturas-terrestres-en-una-cuenca-de-los-Andes-colombianos.pdf. Acesso em: 19 maio 2023.

RUSINQUE QUINTERO, L. L.; MOYANO MOLANO, A. L.; MONTOYA ROJAS, G. A.

Conectividade entre los Andes y la Amazonia, un análisis de la configuración del paisaje del departamento de Caquetá, Colombia. **Perspectiva Geográfica**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 86–105, 2022. Disponível em:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-37692022000100086&lng=en&nrm=iso&tlng=es. Acesso em: 21 maio 2023.

SALAMANCA, E. J. P.; PEÑARANDA, M. L. P. La biodiversidad como estrategia para el desarrollo sustentable en el pacífico colombiano: algunos enfoques para su gestión. **Ambiente y Sostenibilidad**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 37–43, 2013. Disponível em: <https://revistaambiente.univalle.edu.co/index.php/ays/article/view/4322>. Acesso em: 29 maio 2023.

SAURA, S.; BASTIN, L.; BATTISTELLA, L.; MANDRICI, A.; DUBOIS, G. Protected areas in the world's ecoregions: How well connected are they? **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 76, p. 144–158, 2017.

SEOANE, C. E. S.; DIAZ, V. S.; SANTOS, T. L.; FROUFE, L. C. M. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombov. 30, n. 63, p. 216, 2010. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/158>. Acesso em: 5 dez. 2022.

SUÁREZ-CASTRO, A. F.; CORREA AYRAM, C.; NOGUERA-URBANO, E.; GÓMEZ-VALENCIA, B. **Áreas complementarias como grandes conectores de la biodiversidad**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2021/cap3/302/#seccion2>. Acesso em: 31 maio 2023.

WHITTAKER, R. J.; ARAÚJO, M. B.; JEPSON, P.; LADLE, R. J.; WATSON, J. E. M.; WILLIS, K. J. Conservation Biogeography: assessment and prospect. **Diversity and Distributions**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 3–23, 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1366-9516.2005.00143.x>. Acesso em: 30 nov. 2022.

WWF. **Por qué la conectividad es tan importante para la vida silvestre y las personas**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/por-que-la-conectividad-es-tan-importante-para-la-vida-silvestre-y-las-personas>. Acesso em: 30 maio 2023.