



CONECTIVIDADE EM FOCO

Paisagens, Planejamento de
Corredores Ecológicos e Trilhas de Longo Curso

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente
LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

Vice-Presidente
GERALDO ALCKMIN

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Ministra
MARINA SILVA

Secretaria-Executiva
Secretário-Executivo
JOÃO PAULO CAPOBIANCO

Secretaria Nacional de Biodiversidade, Florestas e Direitos Animais
Secretária
RITA DE CÁSSIA MESQUITA

Departamento de Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade
Diretor
BRAULIO FERREIRA DE SOUZA DIAS

Departamento de Áreas Protegidas
Diretor
PEDRO DE CASTRO DA CUNHA E MENEZES

Departamento de Proteção, Defesa e Direitos Animais
Diretora
VANESSA NEGRINI

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA

SECRETARIA NACIONAL DE BIODIVERSIDADE, FLORESTAS E DIREITOS ANIMAIS

CONECTIVIDADE EM FOCO

*Paisagens, Planejamento de
Corredores Ecológicos e Trilhas de Longo Curso*

Brasília - DF
MMA
2024



© 2024 Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

Permitida a reprodução sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio, se citados a fonte do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima ou sítio da Internet no qual podem ser encontrados os originais em:

<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/biodiversidade-e-biomas/conectividade-em-foco.pdf>

A elaboração e diagramação desta publicação foram financiadas com recursos do Global Environment Facility (GEF) por meio do Projeto 029840 – Estratégia Nacional para a Conservação de Espécies Ameaçadas – Pró-Espécies: Todos contra a extinção. O projeto PróEspécies é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) e implementado pelo Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (Funbio), sendo o WWF-Brasil a agência executora.

O Curso de Ecologia de Paisagens e Modelagem de Corredores Ecológicos contou com o apoio do Professor Ricardo B. Machado do Departamento de Zoologia da Universidade de Brasília. O apoio abrangeu a supervisão e apoio aos consultores contratados e ao MMA na elaboração e revisão do material do curso, além da participação especial nas aulas teóricas virtuais e práticas presenciais. A Universidade de Brasília, por meio do Instituto de Ciências Biológicas, forneceu o apoio necessário ao desenvolvimento da parte prática do Curso, tendo cedido o Laboratório de Informática do Instituto para as atividades.

ORGANIZAÇÃO E AUTORIA

Lais Alves Moreira Brasileiro

Edgar Luiz de Lima

Ricardo Bomfim Machado

COORDENAÇÃO E REVISÃO

Ministério do Meio Ambiente e

Mudança do Clima

Samuel Fernando Schwaida

Rodrigo Braga

Lilian Mariana Costa

Vinicius de Souza Moraes

Nadinni Oliveira de Matos Sousa

Bernardo Issa de Souza

MODERAÇÃO E DIAGRAMAÇÃO

Vallie Gestão Estratégica

Arthur Pomnitz - Ilustração

Carolina Ramalho dos Santos - Relatoria

Elise Dalmaso - Coordenação e Moderação

Raissa Vilela - Edição de vídeo

Sigrid Wiederhercker - Moderação e diagramação

APOIO TÉCNICO DO PROJETO

WWF-Brasil

Anna Carolina Lins - Coordenação Operacional

Antônio Barbosa - Compras

Bruna Piazera - Jurídico

Edegar Oliveira - Coordenação Institucional

Eduarda Miranda - Logística

Fernanda Leite - Jurídico

Gabriela Marangon - Assessoria técnica

João Marcelo Lemos - Estágio em geoprocessamento

Kelly Martins - Assessoria técnica

Luana Lopes - Contratos

Marcelo Oliveira - Coordenação Estratégica

Mariana Gutiérrez - Comunicação e engajamento

Rabeshe Quintino - Controladoria

Funbio

Fábio Leite

Foto capa: Júlio Itacaramby, Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.

Foto contracapa: Samuel Fernando Schwaida, Caminho dos Veadeiros.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

B823c Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
Conectividade em foco [recurso eletrônico] : paisagens, planejamento de corredores ecológicos e trilhas de longo curso. – Brasília, DF : MMA, 2024.
30 p. : il. color.

Modo de acesso: World Wide Web
ISBN 978-65-88265-82-6 (on-line)

1. Ecologia. 2. Corredor ecológico. 3. Conservação ambiental. I. Título.

CDU 502.14

Biblioteca Nacional do Meio Ambiente

Júlia G. de Menezes – CRB1/3001

LISTA DE FIGURA

FIGURA	PÁGINA
Figura 1: Diagrama ilustrando a relação recíproca entre estrutura, função e mudança que sintetiza o paradigma regente da Ecologia de Paisagens.	10
Figura 2: áreas de aplicação dos conhecimentos da Ecologia de Paisagens.	12
Figura 3: identificação dos elementos da paisagem de acordo com o Modelo Matri-Mancha-Corredor.	13
Figura 4: paisagens podem apresentar diferentes graus de heterogeneidade, mas sempre algum grau de heterogeneidade é necessário para o seu estudo.	14
Figura 5: a relação recíproca entre padrão espacial e processo ecológico acontece em uma determinada escala de interação.	14
Figura 6: representação da heterogeneidade em uma mesma área geográfica, variando o tamanho da unidade mínima de análise (granulometria), resultando em diferentes percepções de heterogeneidade.	15
Figura 7: exemplo de exercício de planejamento de Corredor (Adaptada de Hess e Fischer, 2001). Essa abordagem de planejamento de Corredor requer explícita consideração das pretendidas funções e potenciais efeitos negativos.	21
Figura 8: representação do métodos de caminho de menor custo (A) e teoria dos circuitos (B). A cor da célula representa o custo de movimentação, os dois quadrados verde escuro grandes representam as áreas que devem ser conectadas. Na figura 8A a linha vermelha representa o caminho de menor custo acumulado para ligar as duas áreas. Na figura 8B, os pontos são os nós elétricos e as estruturas em zigue-zague são os resistores. Quanto mais grossos forem os resistores, maior será a resistência que ele exercerá sobre a movimentação.	23
Figura 9: representação do método utilizando teoria dos grafos. Os pontos (vértices) representam os fragmentos de habitat e as linhas representam as ligações entre os vértices.	24
Figura 10: Corredores Ecológicos como mecanismo associado aos instrumentos de políticas públicas ambientais: Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC).	27
Figura 11: mapas com os traçados da Appalachian Trail nos Estados Unidos (Esquerda) e Trilha Transmantiqueira no Brasil (Direita)	28



LISTA DE ABREVIATURAS

APP- Área de Preservação Permanente

FUNBIO - Fundo Brasileiro para a Biodiversidade

GEF - Global Environment Facility Trust Fund (Fundo Global para o Meio Ambiente)

GPS - Global Positioning System (sistema de posicionamento global)

LPVN - Lei de Proteção da Vegetação Nativa

MG - Minas Gerais

MMA – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

RL - Reserva Legal

SIG - Sistemas de Informações Geográficas

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

TLC - Trilha de Longo Curso

UC – Unidade de Conservação

ZEE - Zoneamento Ecológico-Econômico



SUMÁRIO

Apresentação	<u>09</u>
1. O que é Ecologia de Paisagens?	<u>10</u>
2. Conectividade nas paisagens	<u>16</u>
3. Corredores Ecológicos	<u>19</u>
4. Planejamento de Corredores	<u>22</u>
5. Corredores e políticas públicas de conservação	<u>26</u>
6. O que são Trilhas de Longo Curso?	<u>28</u>



Apresentação

Esta apostila compila os conteúdos e discussões apresentados ao longo do Curso de Ecologia de Paisagens e Modelagem de Corredores Ecológicos, realizado em 2023, no âmbito do projeto Estratégia Nacional para a Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção – Pró-Espécies: Todos contra a extinção, financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF, sigla em inglês), tendo o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) como coordenador, o Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO) como agência implementadora e o WWF-Brasil como agência executora.

O curso foi estruturado em duas etapas, teórica e prática, e foi ministrado, inicialmente, para mais de 60 servidores públicos, com vistas a fortalecer a formação desses profissionais nos temas de Ecologia de Paisagens, Conectividade e Corredores Ecológicos. Todo o material didático, incluindo as aulas e atividades práticas, foi organizado e está agora disponível para acompanhamento assíncrono de qualquer pessoa interessada no tema.

Na etapa teórica, exploramos o histórico e as bases teóricas da Ecologia de Paisagem, abordando o estudo da conectividade e discutindo o papel de estratégias como Corredores Ecológicos e Trilhas de Longo Curso na conservação e restauração de paisagens fragmentadas. A etapa prática foi dedicada à aplicação dos conceitos apresentados, demonstrando metodologias para o estudo da conectividade, prontas para uso ou adaptáveis a diferentes contextos. O objetivo era não somente apresentar essas metodologias, mas também explicar a estrutura e o raciocínio por trás delas, proporcionando aos participantes uma compreensão completa do processo decisório nas aná-



lises de paisagens e promovendo autonomia no uso dessas ferramentas.

Ao longo desta apostila, discutiremos a importância de fundamentar estratégias de conservação em conceitos sólidos e bem estabelecidos. Para isso, apresentaremos as bases conceituais e teóricas da Ecologia de Paisagens, abordando brevemente seu surgimento e seu principal objeto de investigação: a paisagem. Com uma compreensão compartilhada do que é a paisagem e de como representá-la, exploraremos o conceito de conectividade, destacando sua relevância e suas implicações práticas para a conservação.

Dado o papel central da conectividade em paisagens, analisaremos os Corredores Ecológicos, enfatizando como a definição de corredor aplicada influencia diretamente no seu processo de implementação e no alcance de resultados de conservação. Serão apresentados critérios essenciais para a proposição de Corredores Ecológicos, bem como as principais técnicas de modelagem utilizadas e uma abordagem prática para o planejamento.

Além disso, discutiremos o papel das Trilhas de Longo Curso como ferramentas promissoras na promoção da conectividade ecológica, apresentando uma abordagem analítica que apoia o planejamento de seus traçados. Por fim, examinaremos as contribuições de Corredores Ecológicos e trilhas de longo curso para a formulação de políticas públicas de conservação.

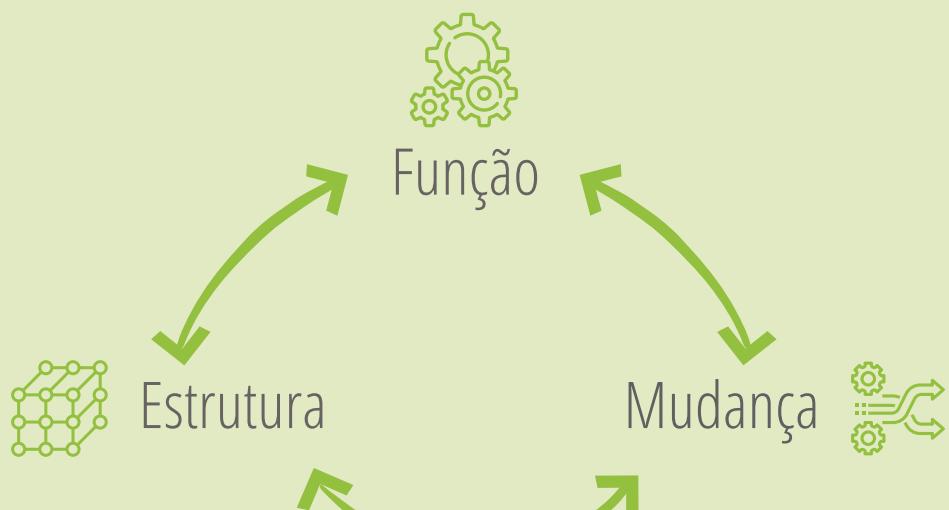
1. O que é Ecologia de Paisagens?



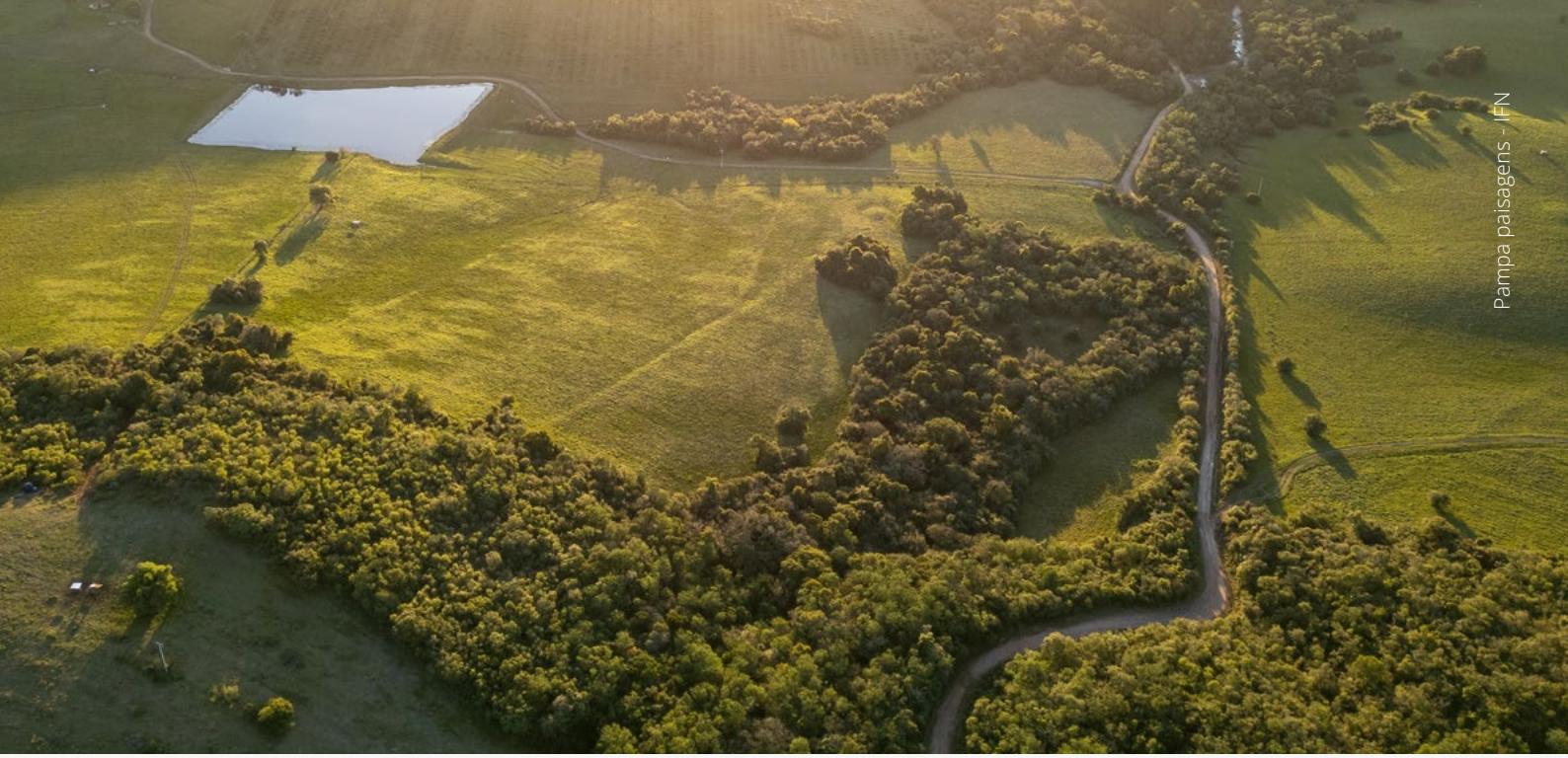
“O estudo da estrutura, função e da mudança em uma área heterogênea composta por ecossistemas que interagem.”
- Forman e Gordon (1986)

A definição acima identifica três focos principais do estudo da Ecologia de Paisagens: estrutura, função e mudança. A estrutura refere-se aos elementos que configuram os padrões espaciais das paisagens. A partir desses padrões, funções ecossistêmicas emergem. Ao longo do tempo, de forma natural ou não, as paisagens passam por mudanças em suas estruturas ou funcionamento, resultando em consequências funcionais e estruturais. Isso destaca a relação recíproca entre estrutura e função, que é o principal objeto de interesse da Ecologia de Paisagens (Figura 1).

Figura 1: diagrama ilustrando a relação recíproca entre estrutura, função e mudança que sintetiza o paradigma regente da Ecologia de Paisagens.



Fonte: compilação do autor.



Escolas da Ecologia de Paisagens

Durante o surgimento da disciplina, duas escolas se destacaram na consolidação dos conceitos e aplicações: Escola Europeia e Escola Americana. A seguir, destacamos suas principais características e diferenciações entre elas.

Escola Europeia (1938 - 1939)

Carl Troll (Alemanha) - Uso de fotografias áreas para identificação de paisagens. Proponente do termo "Ecologia de Paisagens".

Ênfase do estudo da ocupação humana no espaço. Escola baseada em definições antropocêntricas: A paisagem como o "lugar" do ser humano. Por exemplo, apropriação do espaço para moradia, produção e manutenção de recursos. Uso do termo paisagens culturais. Abordagem majoritariamente voltada para planejar a ocupação e uso do espaço geográfico.

Escola Americana (1972 - 1980)

Surge em resposta à crise de perda de biodiversidade. No final da década de 1960, a teoria da biogeografia de ilhas, que identificava o papel do tamanho da ilha e distância da ilha ao continente como fatores determinantes da diversidade de espécies, acabou consolidando conceitos que foram transferidos para sistemas terrestres. Esse movimento da Ecologia conservacionista buscava encontrar soluções de conservação frente às rápidas alterações observadas em populações e comunidades de espécies na época. A aplicação da teoria de biogeografia de ilhas aconteceu de maneira quase que automática para paisagens fragmentadas (Esse momento da Ecologia pode ser visto nas publicações de Brown, Terborgh, Diamond, Moore e Hooper, Simberloff e outros).

Avançando a aplicação da teoria de biogeografia de ilhas para sistemas terrestres, Richard Forman sugere que o padrão de uso da terra no entorno dos fragmentos, e não somente a área do mesmo, possui influência sobre a diversidade. Isso abriu os caminhos para a reflexão de uma Ecologia de Paisagens mais voltada para a biodiversidade. Isto é, a paisagem também é o "lugar" das espécies. Consolidando a Escola Americana como uma abordagem voltada ao planejamento para conservação (Figura 2).

Figura 2: áreas de aplicação dos conhecimentos da Ecologia de Paisagens.



Fonte: compilação do autor.

Ecologia de Paisagens é uma ciência espacialmente explícita. Isso significa que seu objeto de estudo está inserido em um espaço geográfico específico, e sua investigação depende do mapeamento de padrões espaciais e processos para compreender como a estrutura e a função evoluem ao longo do tempo. Para alcançar esse entendimento, foi necessário desenvolver modelos de representação da paisagem.

Mas afinal, o que é uma paisagem?

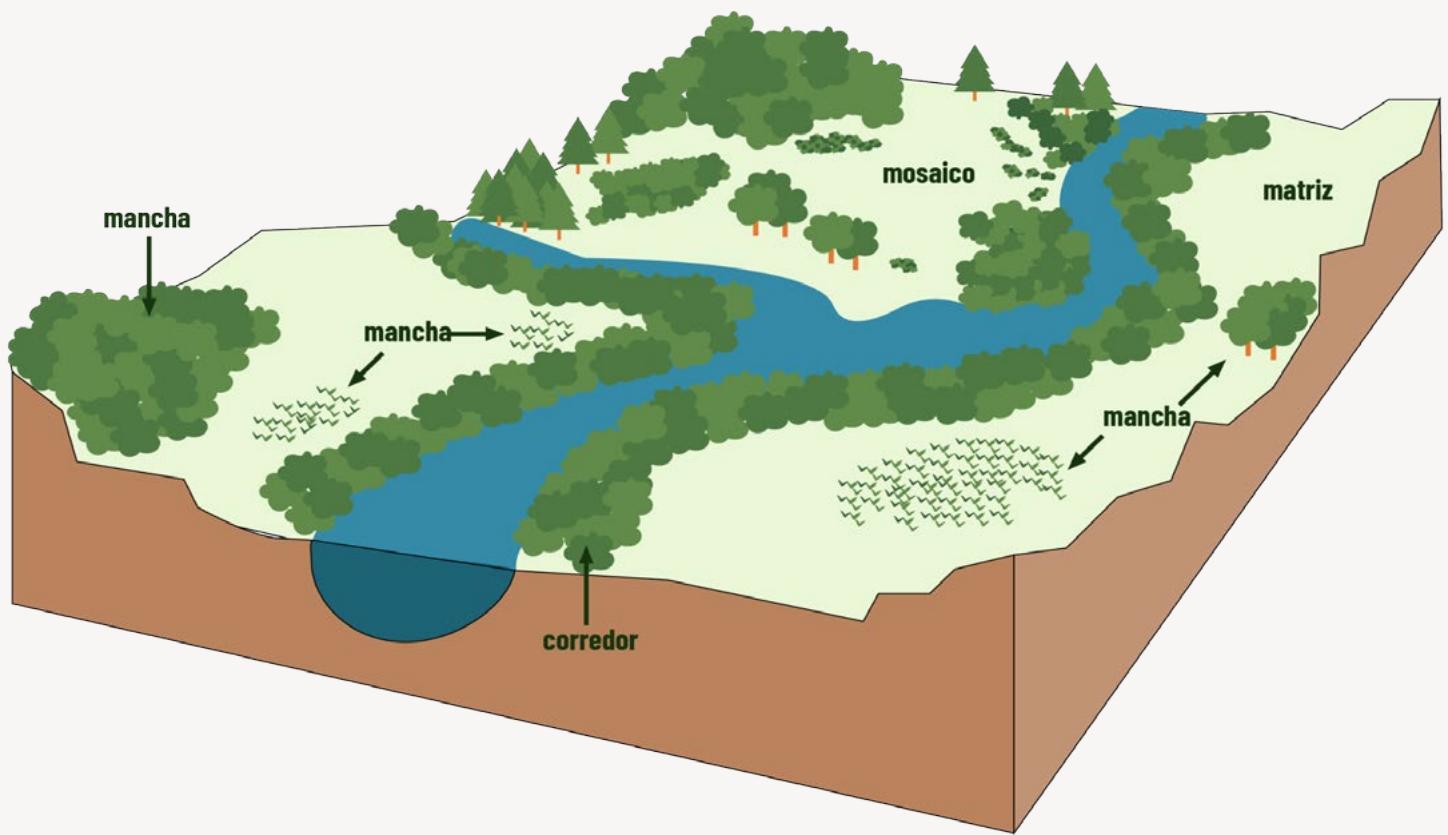
Paisagem está definida no dicionário Houaiss da Língua Portuguesa como uma "Extensão de território que o olhar alcança em um lance; vista, panorama". Ou seja, a paisagem seria o território alcançado pela vista. Essa é uma definição bastante baseada na percepção humana, visto que essa é a função de um dicionário. Trazendo para a Ecologia, a paisagem pode ser definida de forma mais ampla e adequada ao seu estudo:

"Paisagem é uma área com alguns quilômetros de extensão, onde um grupo de ecossistemas interage e se repete de maneira similar ao longo do espaço."

- Forman e Gordon (1981)

A definição de paisagem apresentada por Forman e Gordon (1981) reflete claramente a intenção de compreender sua estrutura e padrões espaciais. Assim, a Ecologia de Paisagens parte do princípio de que as paisagens possuem uma estrutura que pode ser **identificada, medida e comparada**. A partir disso, vamos observar os elementos que compõem essa estrutura (Figura 3).

Figura 3: identificação dos elementos da paisagem de acordo com o Modelo Matriz-Mancha-Corredor.



Fonte: compilação do autor, baseada em FIRSWG, 1998.

Heterogeneidade espacial

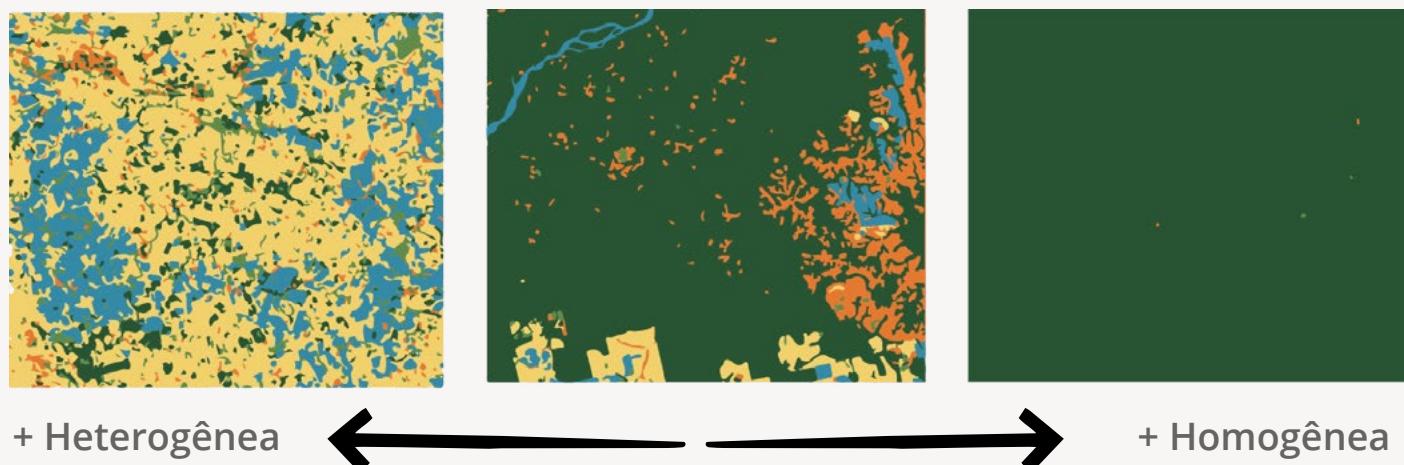
Com o tempo, outras camadas foram incorporadas no conceito de paisagem que nos ajudam a destacar aspectos importantes no seu estudo.

“Paisagem é uma área espacialmente heterogênea, composta por manchas de habitats de um determinado organismo.”

- Dunning *et al.* (1992)

A definição acima incorpora a noção de que a estrutura da paisagem é uma manifestação da heterogeneidade espacial característica de qualquer paisagem (Figura 4). Heterogeneidade nada mais é do que variação, atributo essencial e significativo de sistemas ecológicos (Legendre 1993; Hawkins, 2012).

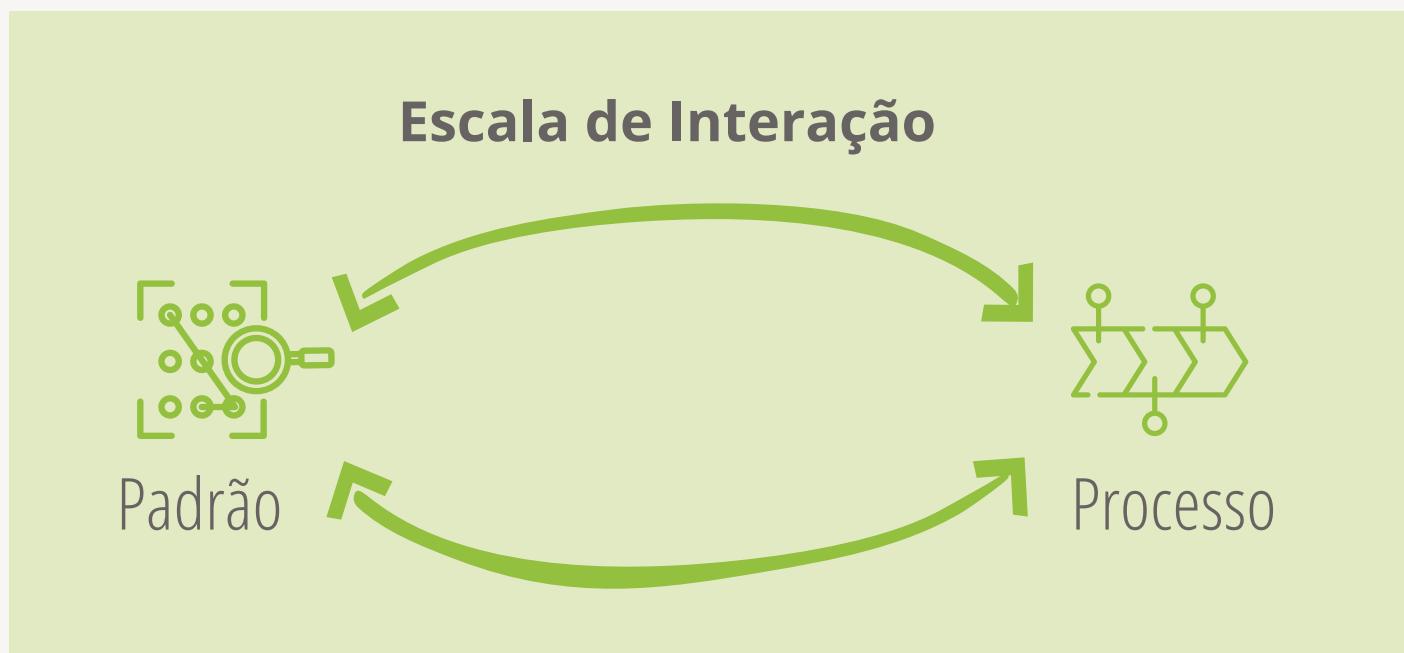
Figura 4: paisagens podem apresentar diferentes graus de heterogeneidade, mas sempre algum grau de heterogeneidade é necessário para o seu estudo.



Fonte: compilação do autor.

Outro aspecto fundamental destacado por Dunning *et al.* (1992) é que a heterogeneidade das paisagens está associada a um fenômeno ecológico específico, neste caso, a um determinado organismo. Em outras palavras, a heterogeneidade observada no padrão espacial das paisagens está vinculada a um processo ecológico. Essa relação ocorre a partir da escala de interação entre o padrão e o processo (Figura 5). Portanto, a escala de representação da heterogeneidade deve ser ajustada conforme o processo ecológico em estudo e o objetivo de interesse.

Figura 5: a relação recíproca entre padrão espacial e processo ecológico acontece em uma determinada escala de interação.



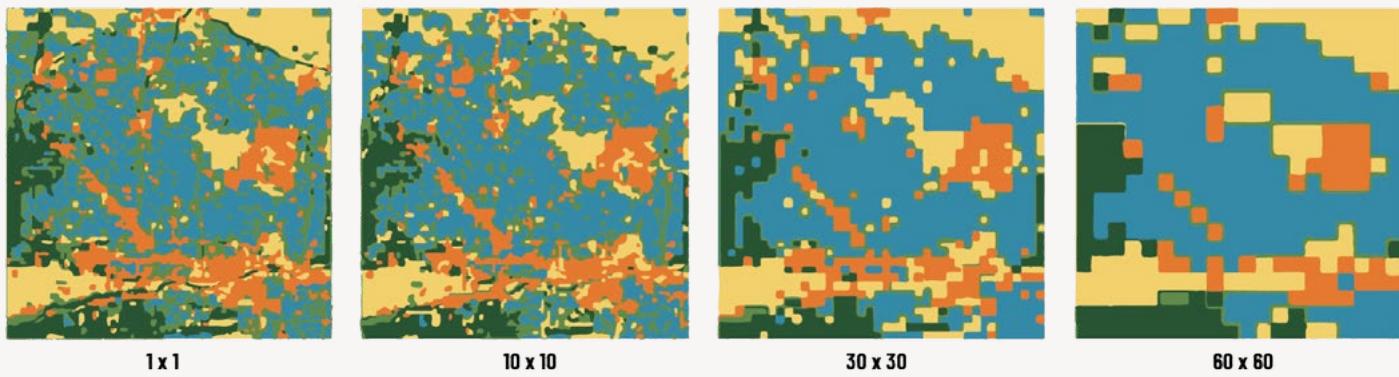
Fonte: Compilação do autor.

Importância da escala

A discussão anterior sobre heterogeneidade possui uma consequência prática: uma paisagem pode ser descrita em qualquer escala. Ou seja, uma paisagem não possui um tamanho ou dimensão fixados. O que importa é que a nossa escala de representação do padrão espacial da paisagem esteja de acordo com a escala do nosso organismo ou processo ecológico de interesse (Figura 6).

Considere uma espécie de besouro rola-bosta e uma espécie de urubu, por mais que ambas desempenham funções ecológicas semelhantes, esses organismos interagem com a paisagem de formas muito distintas. Isso mostra a importância dessa reflexão sobre o tamanho e da quantidade de heterogeneidade mínima que devemos incluir na nossa representação da paisagem.

Figura 6: representação da heterogeneidade em uma mesma área geográfica, variando o tamanho da unidade mínima de análise (granulometria), resultando em diferentes percepções de heterogeneidade.



Fonte: Adaptação de uma figura originalmente do livro *Essentials of Landscape Ecology* (With, 2019).

A forma de interação do organismo com a paisagem reflete a sua escala de percepção. Isso tem influência direta com a conectividade da paisagem.



2. Conectividade nas paisagens

Importância da conectividade

Como você já deve ter notado, ao longo desta apostila vamos sempre bater na tecla da importância de termos nossas definições claras. Conectividade é um termo muito utilizado em distintos contextos e disciplinas. No âmbito da Ecologia de Paisagens, a conectividade já foi descrita como:

“Elemento vital da estrutura da paisagem. Pode ser definido como o grau com o qual a paisagem facilita ou impede movimento entre manchas de recursos.”
- Taylor *et al.* (1993)

“Relação funcional emergente da conexão espacial dos habitats e do padrão de movimento das espécies em resposta à estrutura da paisagem.”
- With *et al.* (1997)



Com essas definições podemos começar a entender que conectividade é uma propriedade da paisagem que emerge da relação funcional entre seu padrão espacial e o processo de interesse. Dessa forma, conectividade é um conceito que encapsula o paradigma que rege a disciplina de Ecologia de Paisagens, que é o da existência de uma relação recíproca entre padrão e processo. No sentido de que o padrão espacial influencia o processo ecológico e o processo ecológico influencia o padrão espacial. Como resultado, temos paisagens dinâmicas e heterogêneas com as quais trabalhamos.

Chamamos de processos associados à conectividade tudo aquilo que remete a movimento ou fluxo em paisagens, sejam esses de matéria biótica ou abiótica. Processos de conectividade, a partir da perspectiva humana, podem ser positivos ou negativos. Isso significa que nem sempre uma paisagem altamente conectada é desejável.

- **Processos ecológicos positivos:** dispersão de organismos; fluxo gênico entre populações; fluxo hidrológico e fluxo de nutrientes na paisagem.
- **Processos ecológicos negativos:** espalhamento de incêndios, maior velocidade de consolidação de espécies invasoras e disseminação de doenças na paisagem.

Considerando os aspectos positivos e negativos que podem estar envolvidos com conectividade, quando estamos manejando uma paisagem fragmentada com o intuito de restaurar a conectividade precisamos fazer a seguinte pergunta:

“Quanta conectividade é necessária para a manutenção do movimento de interesse na minha paisagem?”

Essa pergunta é fundamental para guiar os esforços de manejo para conectividade, visto nossos recursos limitados para ações de conservação. A maximização da conectividade, além de pouco realista, não deve ser o objetivo. Para além, em um contexto de manejo, é de fundamental importância analisar não só a quantidade, mas também a qualidade da conectividade que nossas intervenções produzem nas paisagens.

Aplicações práticas do conceito de conectividade

Conectividade Estrutural

A conectividade estrutural descreve relações físicas entre manchas de habitat na paisagem. É uma concepção simplista mas serve como primeira medida de conectividade. Quando medida sem avaliação de movimento ou fluxo, conectividade estrutural é uma medida de conectividade potencial (Calabrese e Fagan, 2004).

Devido ao seu foco no padrão espacial, a conectividade estrutural geralmente é medida por métricas baseadas em área ou distância entre fragmentos.

Conectividade Funcional

A conectividade funcional incorpora a resposta dos processos ecológicos à estrutura da paisagem. Portanto, a conectividade funcional é entendida como uma medida efetiva de conectividade na perspectiva ecológica (Calabrese e Fagan 2004).

Na prática, isso significa coletar informações sobre o comportamento das espécies, mapear os movimentos e fluxos de interesse, e analisar como aspectos estruturais específicos da paisagem influenciam o movimento.

Medidas de conectividade funcional se baseiam na coleta de dados tanto do padrão espacial, quanto do processo ecológico e na análise da relação estatística entre ambos, para exercícios de modelagem de conectividade.

“– Para trabalhar com conectividade sempre precisamos de modelos complexos construídos com a informação biológica mais refinada?”
“- Depende...”

A realidade é que, na maioria das vezes, principalmente em esforços de maior escala, só vamos ter acesso às medidas estruturais da paisagem. Se o objetivo é entender de fato o comportamento de movimentação de uma espécie em uma paisagem, é necessário ter um conhecimento mínimo sobre a ecologia da espécie como, por exemplo, seus requerimentos de habitat, sua área de vida, distância dispersiva, manchas de recurso, etc.

Nossos modelos devem prever padrões observados. Uma boa prática na construção de modelos estatísticos é começar simples e adicionar complexidade à medida que essa se impõe. Se nosso modelo baseado em medidas de conectividade estrutural prevê o padrão observado, isso é indicativo de que nossa representação de conectividade potencial se aproxima da medida de conectividade efetiva, facilitando nosso processo de manejo da paisagem de interesse.

Fica evidente que a conectividade possui aspectos estruturais e funcionais, mas a sua importância ecológica está contida em sua definição funcional. Nossos exercícios de modelos de conectividade, que servirão de base para intervenções, devem sempre buscar alcançar ou se aproximar da representação da conectividade efetiva. Afinal, um elemento estrutural de corredor em uma paisagem não necessariamente se comporta funcionalmente como um Corredor Ecológico.



3. Corredores Ecológicos

O que é um Corredor Ecológico?



Muito se fala sobre Corredores Ecológicos como estratégia de manejo para conectividade. Definições claras são necessárias para sua efetiva implementação como ferramenta de conservação (Hess e Fischer, 2001). Mas afinal, o que é um Corredor Ecológico?

Aqui novamente se impõe a necessidade de definições claras e bem fundamentadas. Definições ambíguas ou insuficientemente fundamentadas podem causar confusões metodológicas em todas as etapas do desenvolvimento de um projeto de Corredor Ecológico, desde o seu planejamento até sua implementação e monitoramento.

A seguir, destacamos **duas definições clássicas** de Corredores Ecológicos:

“...Faixas terrestres estreitas que se diferem da matriz em ambos os lados. Podem ser isolados, mas geralmente estão conectados com uma mancha de vegetação semelhante.”

- With *et al.* (1997)

“... Faixa contínua e estreita de vegetação que facilita o movimento entre manchas de habitat, prevenindo assim, o isolamento de populações.”

- Merriam (1984)

Note que Merriam, complementando a definição estrutural de Forman e Gordon, incorpora em sua definição o aspecto funcional central de Corredores: facilitar o movimento.

CABE AO GESTOR ESCOLHER OS CRITÉRIOS DE DEFINIÇÃO DE UM CORREDOR ECOLÓGICO DE INTERESSE. COMO COMEÇAR A PENSAR NESSES CRITÉRIOS?

No âmbito da Ecologia de Paisagens, a ciência que estuda conectividade ecológica, o argumento central é que a função leva à forma. Em outras palavras, é somente com o contexto funcional do Corredor que seus aspectos estruturais podem ser definidos.

Ou seja, os Corredores Ecológicos não possuem uma única configuração. Um Corredor Ecológico pode assumir múltiplas funções ao longo de sua extensão, sendo representado por um mosaico de zonas estruturalmente distintas. Essa complexidade exige abordagens de planejamento, implementação e monitoramento que vão além de definições estruturalmente rígidas.

Nesse sentido, definições mais amplas de Corredores Ecológicos se adequam melhor a uma aplicação eficiente da ferramenta no contexto da conservação:

“Um Corredor Ecológico é uma região geográfica claramente definida, que é administrada e manejada por um longo período de tempo, com os objetivos de manter ou restaurar a conectividade ecológica efetiva.”
- Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors
(Hilty et al. 2020)

A compreensão de Corredor Ecológico como unidade política ou administrativa manejada para a conectividade se aproxima da aplicação do termo na legislação brasileira. O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC, Lei 9.985, de 18 de Julho de 2000) define o Corredor Ecológico como um instrumento de gestão e ordenamento territorial, cujo objetivo é garantir a manutenção dos processos ecológicos nas áreas de conexão entre Unidades de Conservação.

É importante destacar que Corredores Ecológicos oferecem um adicional específico de conectividade que complementa as contribuições proporcionadas por Unidades de Conservação. Corredores não substituem as Unidades de Conservação.

Agora que temos nosso conceito estabelecido, podemos começar a pensar nos critérios que devemos considerar para um projeto de Corredor Ecológico.

Critérios para Corredores Ecológicos

Cada Corredor Ecológico deve ser justificado com base em um conjunto de objetivos que explique a forma como seu estabelecimento contribui para a conectividade. Dessa forma, um corredor deve ter no mínimo um **“onde”** e um **“porquê”** muito bem definidos em sua documentação. Para além disso, visto que seus objetivos devem ser cumpridos de forma estratégica pelo conjunto de agentes sociais responsáveis por sua implementação, idealmente, corredores também devem ter seus aspectos de **“como”** e **“quem”** elaborados.

Onde

Um Corredor Ecológico deve ser claramente delimitado, com limites acordados e devidamente demarcados. Isso inclui o traçado exato do percurso que o corredor seguirá, bem como as variações em sua largura ao longo de toda a sua extensão.

As definições estruturais de corredores devem levar em consideração mudanças sazonais na paisagem, como por exemplo margens de rios e outras áreas alagáveis. Perspectivas de adaptação climática podem ser incorporadas para delimitação das dimensões de um corredor, considerando possíveis movimentações do corredor no tempo e no espaço, corroborando para sua longevidade. Independente de seu tamanho, os aspectos estruturais de um corredor devem ser sempre suficiente-

tes para alcançar seus objetivos. Isto é, a delimitação de um corredor deve ser baseada nas necessidades ecológicas de conectividade, e não em fronteiras administrativas.

Porquê

Como discutido anteriormente, Corredores Ecológicos devem ter suas funções e objetivos específicos claramente justificados e documentados. O modelo de tabela abaixo, desenvolvida por Hess (2001), auxilia nesse delineamento de funções e possíveis conflitos que possam emergir no manejo conjunto dos objetivos.

Figura 7: exemplo de exercício de planejamento de Corredor (Adaptada de Hess e Fischer, 2001). Essa abordagem de planejamento de Corredor requer explícita consideração das pretendidas funções e potenciais efeitos negativos.

Função	Uso Primário	Uso Secundário	Potenciais Problemas

Fonte: compilação do autor.

Como

Um Corredor Ecológico deve ter objetivos claros e mensuráveis, por isso é fundamental que todo Corredor Ecológico tenha um plano de manejo. Planos de manejos podem ter complexidades distintas a depender da escala, número de funções acumuladas e sistemas de uso da terra que o corredor atravessa. Um plano de manejo bem estruturado estabelece um roteiro e facilita a gestão colaborativa para o alcance dos resultados do corredor, para além de apresentar seus meios de implementação e o caminho metodológico para sua avaliação e monitoramento.

Quem

Muito embora um Corredor Ecológico possa ser uma área protegida, ele nem sempre goza de um status oficial de proteção e sequer é necessariamente composto por áreas públicas. Cumprindo seu papel complementar às Unidades de Conservação, corredores, normalmente, se estendem para além dos limites dessas unidades, atravessando regiões sob diferentes regimes de titularidade de terras. Isso significa que diversos atores, como proprietários rurais, povos indígenas, e comunidades tradicionais, devem ser envolvidos no planejamento, implementação e monitoramento de Corredores Ecológicos. Portanto, um Corredor Ecológico deve ser acompanhado por um **sistema de governança** que leve em consideração os interesses diversos dos setores da sociedade envolvidos, implicados e beneficiados por sua existência.



4. Planejamento de Corredores

Estabelecer um Corredor Ecológico é mais econômico do que criar novas áreas de conservação. A criação de corredores não exige desapropriação, mas sim a incorporação de propriedades para que participem da iniciativa. Assim, o grande desafio reside em engajar os proprietários privados nesse processo.

Além das espécies alvo, os seres humanos também podem obter benefícios desses corredores. No ambiente rural eles podem atuar como refúgio para polinizadores, inimigos naturais de pragas agrícolas, fornecer e garantir a qualidade da água e servir como estoque de sementes para recuperação de áreas degradadas. Já em áreas urbanas, os corredores podem atuar na proteção contra enchentes, deslizamentos e promoção da qualidade de vida através de áreas para recreação e regulação do microclima.

Abordagens para o planejamento

Existem diferentes abordagens para se planejar como e onde implementar um Corredor Ecológico, aqui iremos mostrar algumas abordagens baseadas na conectividade funcional da paisagem, ou seja, levando em consideração as características de uma ou mais espécies de interesse.

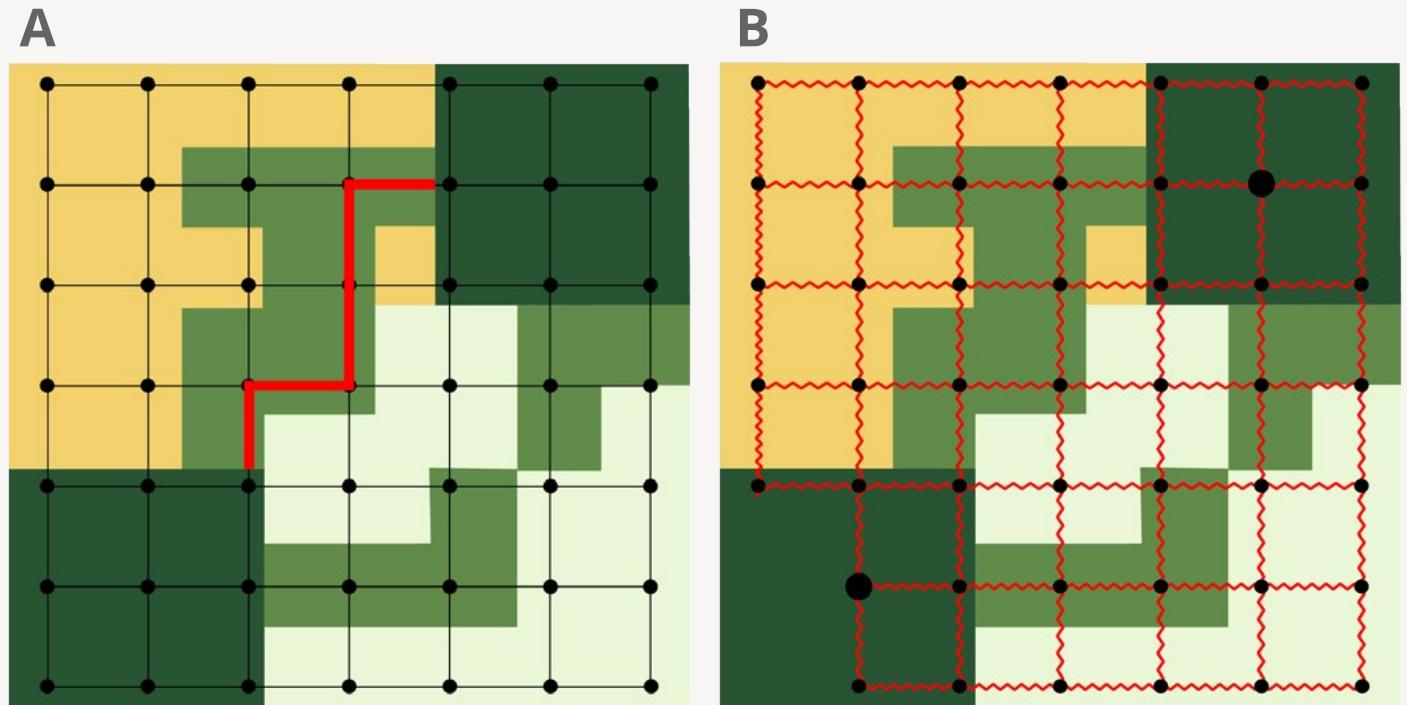
Superfícies de custo ou resistência

A superfície de custo consiste em um mapa matricial da paisagem de interesse com os valores das células representando o grau de dificuldade que determinado tipo de uso e cobertura do solo exerce sobre a movimentação dos indivíduos alvo. Essa superfície de custo/resistência é calculada a partir de informações biológicas vinda de uma variedade de fontes como opinião de especialistas sobre o uso e comportamento das espécies ou dados coletados por dispositivos como GPSs, gravadores e câmeras (Reed *et al.* 2017, Jezuíno *et al.* 2021). A partir da superfície de custo criada, podemos utilizar diferentes técnicas de modelagem para planejar onde iremos estabelecer novos Corredores Ecológicos.

Caminho de menor custo

O método de caminho de menor custo baseia-se na ideia de que as espécies seguirão a rota mais eficiente (ou de menor “custo”) para se deslocarem entre dois pontos da paisagem. Para esse algoritmo é necessário a superfície de custo e as coordenadas do local de saída e destino. Através dessas informações, o algoritmo irá identificar o caminho com menor custo e distância acumulada para o deslocamento entre as duas.

Figura 8: representação do métodos de caminho de menor custo (A) e teoria dos circuitos. A cor da célula representa o custo de movimentação, os dois quadrados verde escuro grandes representam as áreas que devem ser conectadas. Na figura 8A a linha vermelha representa o caminho de menor custo acumulado para ligar as duas áreas. Na figura 8B, os pontos são os nós elétricos e as estruturas em zigue-zague são os resistores. Quanto mais grossos forem os resistores, maior será a resistência que ele exercerá sobre a movimentação.



Fonte: Diniz *et al.*, 2020.

Teoria dos circuitos

Assim como na técnica anterior, utilizamos um raster em que para cada célula é atribuído um valor de resistência com base nas características do terreno e na facilidade de movimentação das espécies. Aqui as células do mapa são transformadas em um circuito elétrico, onde cada célula com resistência finita é convertida em um nó elétrico. As células com resistência infinita, que representam barreiras intransponíveis, são descartadas.

A corrente elétrica é simulada entre dois ou mais pontos de interesse (geralmente fragmentos de habitat), e o modelo calcula o fluxo de corrente através da paisagem. O resultado é um mapa de corrente acumulada que mostra as áreas da paisagem por onde o fluxo de espécies é mais intenso. Áreas com alta corrente acumulada são aquelas que exercem menor resistência à movimentação da espécie alvo, enquanto áreas com pouca ou nenhuma corrente acumulada exercem maior resistência (Figura 9).

Teoria dos grafos

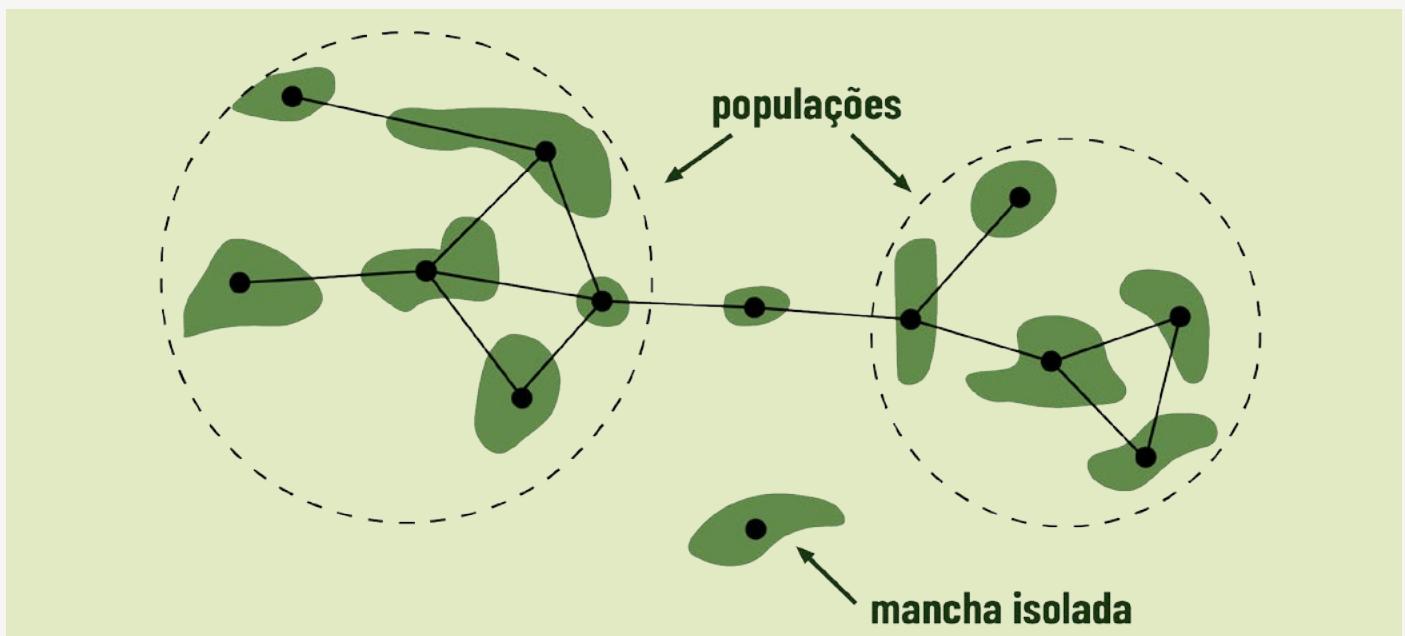
A teoria dos grafos trata a paisagem como uma rede de pontos conectados por linhas, onde cada ponto e linha tem um papel específico para a conectividade. Os elementos da paisagem são representados como:

- **Nós (Vértices):** Representam fragmentos de habitat ou áreas específicas de interesse ecológico, como parques, reservas, ou quaisquer manchas de habitat importantes para as espécies.
- **Arestas (Ligações):** Conectam os nós e representam as possíveis rotas de movimento das espécies entre os fragmentos de habitat. As arestas podem ser ponderadas para refletir a distância, resistência, ou custo do movimento entre os nós.

Utilizando métricas da teoria dos grafos é possível avaliar o papel dos fragmentos e como a distribuição deles afeta a conectividade da paisagem:

- **Conectância:** Mede a proporção de conexões possíveis que realmente existem no grafo. Alta conectância indica que muitos fragmentos estão interligados, facilitando o movimento das espécies
- **Centralidade:** Avalia a importância de um nó dentro da rede. Um nó central pode ser crucial para manter a conectividade geral; a perda desse nó pode fragmentar a paisagem.
- **Caminho mais curto:** Refere-se à menor distância ou custo entre dois nós. Identificar esses caminhos ajuda a entender as rotas preferenciais de movimento.

Figura 9: representação do método utilizando teoria dos grafos. Os pontos (vértices) representam os fragmentos de habitat e as linhas representam as ligações entre os vértices.



Fonte: compilação do autor.

Monitorando os Corredores

Após planejar e implementar o Corredor Ecológico, é importante realizar o monitoramento para avaliar se ele de fato está cumprindo o seu papel. A importância do monitoramento reside em vários aspectos, incluindo a avaliação da eficácia do corredor, a detecção de problemas e a adaptação das estratégias de manejo.

- **Uso do corredor:** o monitoramento permite avaliar se de fato o corredor está facilitando o movimento das espécies alvo, e se ele está conseguindo ligar as áreas de habitat desejadas.
- **Invasão de espécies:** além de beneficiar as espécies desejadas, os corredores podem favorecer a dispersão e movimentação de espécies invasoras, pragas e vetores de doenças, prejudicando assim as espécies nativas e também o ser humano.
- **Gestão e adaptação:** às vezes, um corredor pode não estar sendo usado da maneira esperada, a partir do monitoramento é possível propor estratégias de melhoria como restaurar habitats no entorno ou modificar o desenho do corredor.
- **Mudanças ambientais:** à medida que o clima e as pressões antrópicas mudam, os padrões de movimentação e comportamento das espécies também podem mudar. Assim, o monitoramento ajuda a adaptar o corredor, garantindo que ele continue desempenhando o seu papel.



5. Corredores e políticas públicas de conservação



Gestão territorial e planejamento de ocupação do espaço talvez sejam as duas áreas onde o uso de corredores e trilhas planejadas possuam mais afinidade. A gestão territorial é o objeto de atenção da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981), que possui o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) como um dos mecanismos de sua implementação. O Decreto 4.297, de 10 de julho de 2002 regulamenta o artigo 9º, inciso II da referida Lei, estabelecendo os critérios para a elaboração do ZEE. Na fase de planejamento do ZEE, devem ser considerados vários fatores ambientais, sociais e econômicos, destacando-se as fragilidades naturais da região sob análise, as tendências e estado da ocupação humana, as condições de vida da população e, conforme destacado no Artigo 13º inciso IV, a indicação de Corredores Ecológicos. Assim, o planejamento de Corredores Ecológicos representa um dos requisitos para a proposição de um ZEE.

Outra importante política pública onde o planejamento de Corredores Ecológicos é necessário é a Lei de Proteção da Vegetação Nativa - LPVN (Lei 12.651 de 25 de maio de 2012), que substituiu o antigo Código Florestal. Ela define dois elementos básicos em sua composição: as áreas de Reserva Legal (RL) e as Áreas de Preservação Permanente (APP). Embora cada um desses elementos possua sua definição e características próprias, ambos devem contribuir para a formação de Corredores Ecológicos (Artigo 3º, inciso II; Artigo 14º, parágrafo 2º, inciso III) entre Unidades de Conservação ou outras áreas legalmente protegidas. Assim, o planejamento dos corredores contribui

diretamente para a implementação da LPVN em todo o país, salientando o papel das propriedades rurais nesse processo.

Por fim, o planejamento de corredores e também das trilhas de longo curso está diretamente associado com dois aspectos importantes das Unidades de Conservação. O primeiro é a atenuação do isolamento das Unidades de Conservação, pois o estabelecimento de Corredores Ecológicos está previsto no Artigo 25 da Lei do 9.985 de 18 de julho de 2000 – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. Os Corredores Ecológicos possuem assim o importante papel de possibilitar o fluxo gênico dos componentes da biodiversidade entre as unidades de conservação. O segundo diz respeito à visitação. As Unidades de Conservação devem ter um plano de manejo e podem ter, conforme o caso, um programa de uso público que visa a integração da unidade à vida econômica e social das comunidades vizinhas. As trilhas de longo curso representam então um bom instrumento para auxiliar na educação ambiental, visitação nas Unidades de Conservação e a contemplação da natureza pelas pessoas.

Em resumo, percebe-se que os Corredores Ecológicos e trilhas de longo curso podem e devem ser planejados para contribuir com a implementação de importantes políticas públicas voltadas para o meio ambiente, para a conservação da biodiversidade, para o desenvolvimento econômico sustentável e de baixo impacto e para a promoção do bem-estar humano.

Figura 10: Corredores Ecológicos como mecanismo associado aos instrumentos de políticas públicas ambientais: Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC).



Fonte: compilação do autor.

Aponte a câmera ou clique nos códigos para acessar:



Lei do Sistema Nacional
de Unidades de
Conservação da Natureza.



Decreto de
Regulamentação
do Zoneamento
Ecológico-Econômico
do Brasil.



Lei de Proteção da
Vegetação Nativa.

6. O que são Trilhas de Longo Curso?



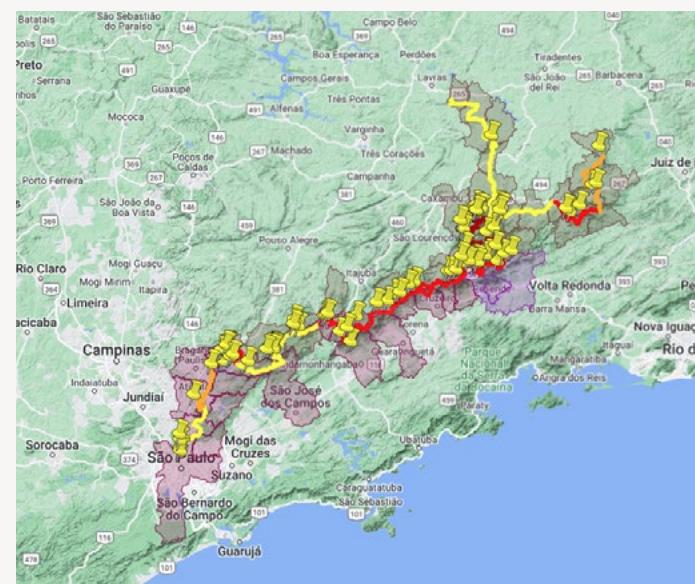
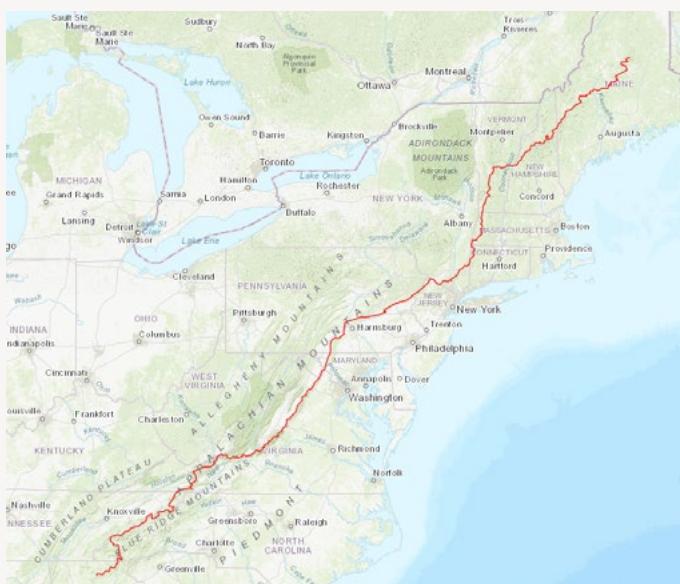
Trilhas de longo curso são rotas ou caminhos destinados a caminhadas e outros modais não motorizados que se estendem por longas distâncias, muitas vezes atravessando diferentes tipos de paisagens, ecossistemas e, em alguns casos, até países. Essas trilhas são projetadas para serem percorridas em vários dias, semanas ou até meses, e geralmente estão associadas ao turismo de natureza, ao ecoturismo, às ciclovias e ao montanhismo.

Se bem projetadas e manejadas, essas trilhas são de grande valor ecológico e cultural. Elas frequentemente passam por áreas de grande importância para a conservação da biodiversidade, como parques nacionais, reservas naturais e Corredores Ecológicos. Além disso, essas trilhas podem contribuir para a conservação ao promover

educação ambiental entre os caminhantes e o desenvolvimento econômico para as comunidades locais. Além disso, geram pertencimento e engajamento na proteção dos locais por onde passam.

Exemplos conhecidos de trilhas de longo curso incluem a Appalachian Trail nos Estados Unidos, a Bibbulmun Track, na Austrália, a Trilha Inca no Peru e o Caminho de Santiago na Europa. No Brasil, já temos mais de 10 mil quilômetros de trilhas planejadas, distribuídos entre os seis biomas brasileiros (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal). Entre elas se destacam a Trilha Transespinhaço (MG) com aproximadamente 1.000 km e a Transmantiqueira com 1.200 km, percorrendo os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

Figura 11: mapas com os traçados da Appalachian Trail nos Estados Unidos (Esquerda) e Trilha Transmantiqueira no Brasil (Direita).



Fonte: Websites do National Park Service¹ e da Trilha Transmantiqueira²

¹ Disponível em: <https://www.nps.gov/appa/planyourvisit/maps.htm>

² Disponível em: <https://rb.gy/7qiuex>



Além de proporcionar lazer, as trilhas de longo curso contribuem indiretamente para a conservação da biodiversidade, aproximando as pessoas da natureza e servindo como uma valiosa ferramenta de educação ambiental. Como um dos principais atrativos dessas trilhas é promover o contato direto com ambientes naturais, as áreas de vegetação nativa ao seu redor tendem a ser mais preservadas em comparação com regiões mais distantes (McKinley *et al.* 2018). Dessa forma, a presença dessas trilhas auxilia na conservação das áreas naturais, beneficiando a biodiversidade ao fornecer refúgio e habitats adequados para a sobrevivência de espécies, além de funcionarem como Corredores Ecológicos que conectam populações de diferentes localidades (Wilson e Belote, 2022).

Planejamento de trilhas

O planejamento de trilhas de longo curso pode ser feito com o uso de diferentes abordagens, como a visualização de imagens de satélite no Google Earth, a consulta a comunidades locais ou o uso de mapas cartográficos para delinear o traçado desejado. Aqui apresentaremos um método que combina o uso de sistemas de informações

geográficas (SIG), um algoritmo que seleciona “caminhos-de-menores-custos” entre dois ou mais pontos de interesse, a escolha de variáveis ou aspectos que são importantes de serem considerados e a experiência de quem atua com conservação e com trilhas.

Talvez o primeiro passo no planejamento seja estabelecer os objetivos a serem alcançados com a trilha. Deseja-se uma trilha curta ou longa? O planejamento vai ser único ou feito em etapas? Quais aspectos da paisagem devem ser considerados? Deseja-se que a trilha passe perto de pousadas e hotéis? De restaurantes? De cachoeiras e mirantes? Que a trilha passe por áreas mais selvagens e remotas, longe de estradas movimentadas e de locais sensíveis, como pontos de ocorrência de espécies ameaçadas? Tudo isso pode e deve ser considerado.

O segundo passo é analisar o contexto em que a trilha será estabelecida. Ela passará por muitas propriedades privadas? Por áreas de plantio ou pastagens? Quais são os parceiros que devem ser envolvidos no planejamento da trilha desejada? Ela será para todos os públicos, somente para caminhantes, ciclistas ou ambos? Quais são os possíveis obstáculos políticos a serem enfrentados?

Uma vez que esses aspectos sejam considerados, a modelagem de possíveis traçados pode ser feita com o uso de programas específicos. Mapas em diferentes formatos devem ser obtidos, editados, recortados pelos limites da região de interesse, projetados, enfim, preparados para o exercício de modelagem. A abordagem do “caminho-de-menor-custo”, descrita anteriormente, talvez seja o método mais simples e direto para modelar o trajeto de uma trilha. Uma variação do método é o uso da Teoria dos Circuitos (vide acima), que resulta em ter mais de uma solução para o problema apresentado, ou seja, mais de um possível trajeto. Uma terceira abordagem é utilizar a Teoria dos Grafos para identificar os pontos mais relevantes que devem fazer parte do trajeto. Esses pontos podem ser áreas nativas, mirantes, cachoeiras, rios, lagoas, áreas planas, etc., que serão considerados na modelagem do trajeto.

Em qualquer dos casos, um mapa com a superfície de custo deve ser elaborado. Esse mapa é uma combinação dos diversos aspectos que podem influenciar a determinação do(s) trajeto(s). Assim, existem fatores que influenciam positivamente, como a proximidade de cachoeiras e áreas nativas (a solução do modelo da trilha deve privilegiar um trajeto que se aproxime desses locais),

e fatores que influenciam negativamente, como terrenos com grande declividade e proximidade de estradas movimentadas (a solução do modelo deve gerar um trajeto longe desses aspectos). Com o uso de um sistema de informação geográfica (por exemplo QGIS) ou pacotes no programa R (terra e sf), o mapa de custo pode ser produzido para uso no modelo. O resultado do modelo é um mapa com um ou mais possíveis trajetos entre os pontos de origem e destino previamente selecionados (que podem ser duas unidades de conservação, por exemplo).

Como o resultado do modelo é um mapa, o mesmo pode ser detalhadamente avaliado com o uso do Google Earth. Uma vez visualizado nessa ferramenta, os detalhes do trajeto podem ser ajustados, revisados ou descartados, lembrando que os fatores usados para produzir o mapa com a superfície de custo podem ser alterados e um novo modelo pode ser gerado. Essa revisão pode ser feita por um grupo de pessoas com experiência na região ou na implementação de trilhas de longo curso, pois diversos aspectos devem ser considerados para a sua implementação: quem deve ser envolvido, quais acordos locais devem ser estabelecidos, quem vai financiar, como a trilha vai ser divulgada, dentre outros.

Aponte a câmera ou clique nos códigos para acessar:



Rede Trilhas: Portaria conjunta nº 407 de 19 de outubro de 2018.



Rede Trilhas: Portaria conjunta nº 500 de 15 de setembro de 2020.



Vídeo-aulas Curso de Ecologia de Paisagens e Modelagem de Corredores Ecológicos







Cerrado Minas Gerais - Fernando Tatagiba



Apoio técnico:



Realização:



MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE E
MUDANÇA DO CLIMA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO