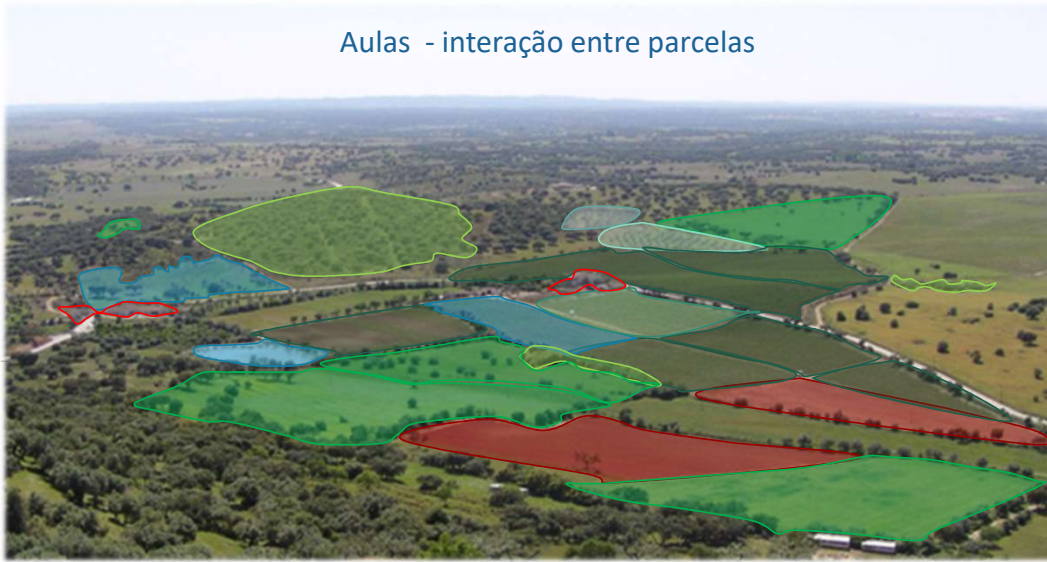


Teoria e Métodos de Ecologia da Paisagem TMEP

Aulas - interação entre parcelas



TMEP 2023

Redes e Nós e Conectividade da Paisagem

Uma rede é um Sistema de pontos (nós ou *nodes*) ligados por linhas (ligações)

Exemplos:

- As Cidades (i.e, os nós - nodes) ligadas por estradas ou ferrovias (as linhas de ligação, links); os nós de intercepção são as junções de corredores que se intercetam (também podem ser vistos como vértices).
- Na perspectiva de um organismo: as cidades são como habitats semelhantes ligados por corredores ecológicos

As duas características principais de uma rede linear:

- densidade de linhas
- padrão espacial das linhas

A topologia da rede combina pontos (ou parcelas de habitat) com linhas (ou parcelas lineares, corredores):

- Densidade de nós – número de nós por unidade de área
- Densidade de linhas – comprimento das linhas por unidade de área
- Para saber a conectividade das linhas:

TMEP 2023

Conectividade mede o grau (a intensidade) de ligação dos nós às linhas num sistema (i.e., avalia a intensidade de ligações das parcelas aos corredores numa paisagem).

Para avaliar a conectividade pode usar-se:

- Índice **ICON**, que relaciona o número de ligações da rede (NL) com o número máximo de ligações (MNL) para uma rede teórica com o mesmo número de nós (ou vértices, V)

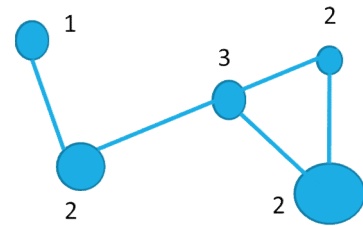
o número máximo de ligações numa rede – $MNL = 3(V-2)$, assumindo que todas as interseções entre linhas são considerados nós.

$$ICON = NL / MNL = ONL / [3(V-2)]$$

Este índice de conectividade (**ICON**) varia entre:

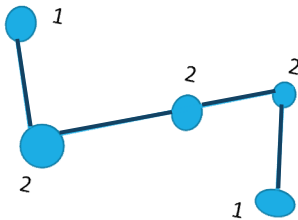
- 0 - quando os nós estão isolados, e
- 1 - quando todos os nós estão inter-ligados

- Nº de ligações de cada nó** (mede o grau de ligações associadas a cada nó)



$$ICON = 5 / [3(5-2)] = 5/9 = 0,56$$

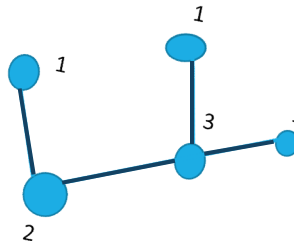
TMEP 2023



Rede linear com 5 nós ($V=5$)

Nº de ligações = 4

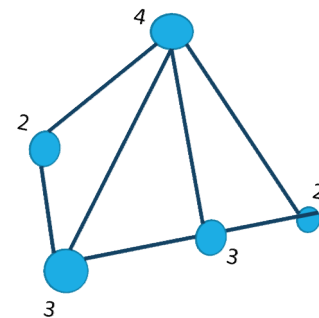
- ICON = $4 / [3(5-2)] = 4/9 = 0,44$
- Nº de ligações de cada nó = 1



Rede dendrítica com 5 nós ($V=5$)

Nº de ligações = 4

- ICON = $4 / [3(5-2)] = 4/9 = 0,44$
- Nº de ligações de cada nó = 1



Rede retilínea com 5 nós ($V=5$)

Nº de ligações = 7

- ICON = $7 / [3(5-2)] = 7/9 = 0,77$
- Nº de ligações de cada nó = 2 a 4 (média 2,8)

TMEP 2023

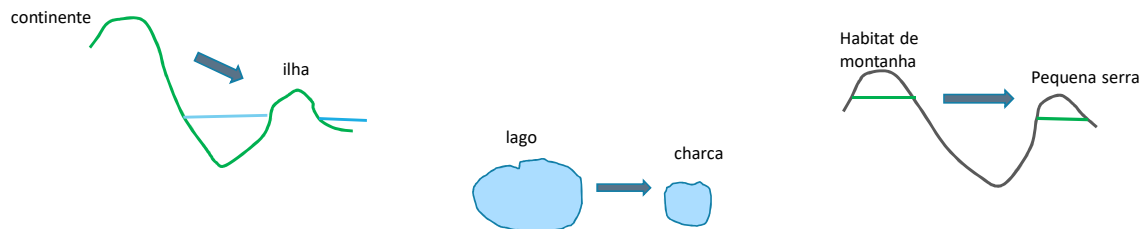
Interação entre parcelas da mesma classe de uso/ocupação pode ser de grande importância para os organismos e processos ecológicos

Tem implicações na diversidade de espécies – influencia os movimentos das espécies e a colonização (exploração) de territórios – Teoria da biogeografia insular (MacArthur & Wilson, 1967)



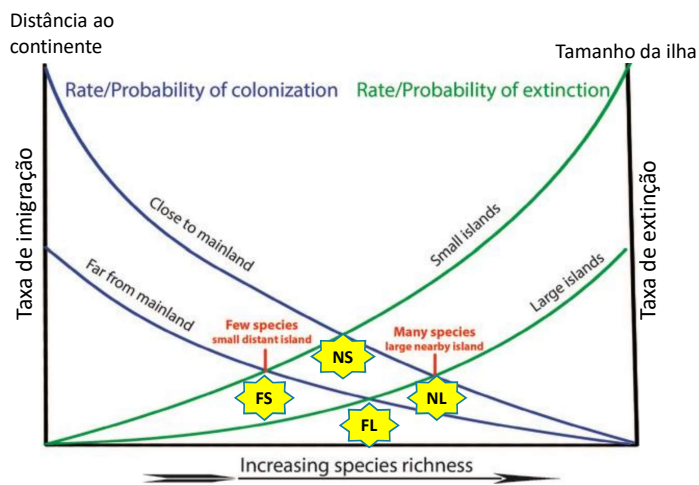
A riqueza de espécies numa ilha é função de um equilíbrio dinâmico entre a imigração (chegada) contínua e a extinção local de espécies

Exemplos da interação entre parcelas de habitat onde Teoria da Biogeografia Insular se pode aplicar



TMEP 2023

O balanço entre a área de habitat e o isolamento (teoria da biogeografia insular, MacArthur & Wilson, 1963)

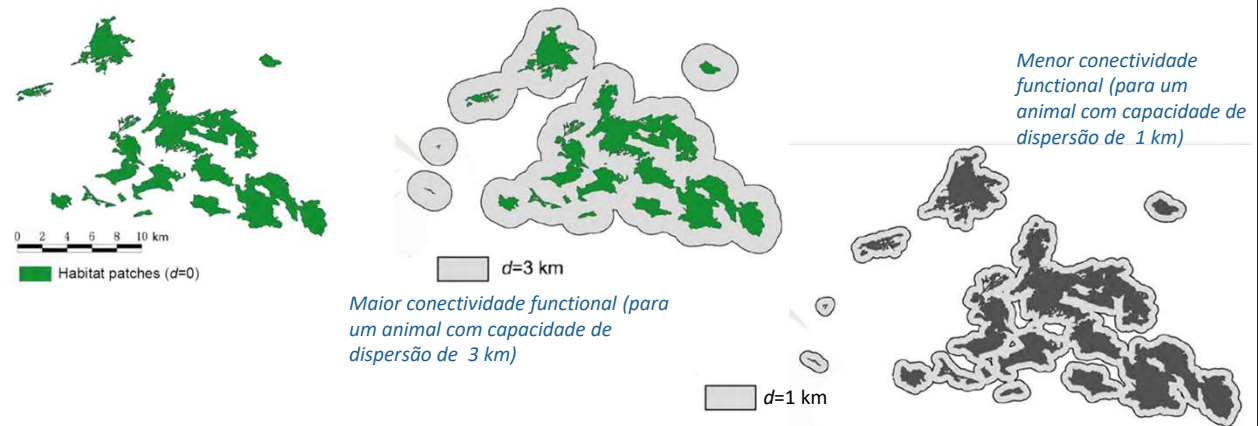


- Em geral, a taxa de imigração diminui com o número de espécies já presente na ilha e a taxa de extinção aumenta com o número de espécies presente
- O número de espécies em equilíbrio é obtido quando a taxa de imigração iguala a de extinção.
- As ilhas mais perto do continente (N) tem maior taxa de imigração que as ilhas mais afastadas do continente (F) e as ilhas mais pequenas (S) tem maiores taxas de extinção que as maiores (L);
- o número de espécies de uma ilha que está afastada do continente e é pequena (FS), é muito menor que o número de espécies de uma ilha que é grande e está perto do continente (LN);
- Valores intermédios são esperados para uma ilha pequena mais perto do continente (NS) e para ilhas grandes e afastadas do continente (FL).

TMEP 2023

A capacidade de colonização de habitats por uma determinada espécie depende também da sua capacidade de dispersão

- A conectividade estrutural é característica da paisagem
- A conectividade funcional depende da estrutural e da capacidade de dispersão (d)



TMEP 2023

A dinâmica das metapopulações – as populações persistem quando a recolonização compensa a extinção, resultando num mosaico dinâmico entre parcelas ocupadas e desocupadas

- A taxa de colonização de uma ilha ou parcela pode ser estimada a partir da distância entre essa parcela e outras colonizadas, bem como sobre a sua área;
- A probabilidade de extinção local depende da área da parcela, já que esta influencia a capacidade de carga;
- **O grau de interação entre populações é influenciado pelo tamanho da parcela e pela distância entre parcelas (i.e densidade de parcelas)**



TMEP 2023

A **Densidade de parcelas** (n° de parcelas por unidade de área) dá uma boa indicação da interação entre parcelas, mas não diz nada sobre a sua distribuição. **Por isso é preciso avaliar também o tipo de distribuição das parcelas**

Para avaliar o padrão de distribuição

- Usa-se a média da distância ao vizinho mais próximo: média da distância mínima entre o limite (a orla) das parcelas com o mesmo habitat (ou classe de uso/ocupação).
- Compara-se (ou relaciona-se) a distância média observada (**OMD**) com a esperada ou teórica (**EMD**) se a distribuição fosse ao acaso

Neste caso o padrão teórico não é fácil de prever já que depende da distância entre parcelas e do seu tamanho e forma. Mas para esta avaliação, considera-se que elas são suficientemente pequenas para que o seu centro possa ser usado para estimar a distância entre vizinhos como foi feito com os pontos.

A **distância média Esperada (ou teórica) - EMD** entre vizinhos mais próximos, pode ser calculada com base na densidade de parcelas λ_p

$$EMD = \frac{0,5}{\sqrt{\lambda_p}}$$

O índice de Padrão espacial de distribuição de parcelas:

$$\text{PADRÃO Parcelas} = \text{EMD}/\text{OMD}$$

Varia entre:

0,465 – distribuição completamente uniforme (regular)

1 – distribuição aleatória (ao acaso)

∞ - distribuição completamente agrupada (todos os pontos coincidem)

TMEP 2023

Para conhecer melhor a interação entre parcelas convém integrar informação sobre as suas áreas

Para cada parcela (i) o **Índice de proximidade (PROX)** calcula-se com base no somatório da razão entre a área de cada vizinho (j) e a distância que esse vizinho está da parcela em análise (i), dentro de um raio de pesquisa.

$$\text{PROX } 1_i = \sum \frac{a_j}{d_{ij}}$$

Este raio deve ser selecionado de acordo com o objectivo, por ex. a área vital de uma espécie, ou a sua distância de dispersão ou outros factores dos processo em estudo.

Usando o **modelo gravitacional entre corpos** como referência (i.e., a força de atração é directamente proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas), adaptou-se outro **índice I** que pode auxiliar a avaliar a **força de interação** entre duas parcelas (i e j), tomando em consideração as suas áreas (a_i e a_j) e a distância entre elas (d_{ij}),

$$I_{i,j} = \frac{(a_i \times a_j)}{(d_{ij})^2}$$

Este, por sua vez, permitiu definir um outro **índice de proximidade PROX 2**

$$\text{PROX } 2_i = \sum \frac{a_j}{(d_{ij})^2}$$

TMEP 2023

Índices para cada parcela:

$$\text{PROX } 1_i = \sum \frac{a_i}{d_{ij}}$$

$$\text{PROX } 2_i = \sum \frac{a_j}{(d_{ij})^2}$$

Para um grupo de parcelas da mesma classe de habitats faz-se a **média dos índices de proximidade (MPROX1 e MPROX2)**:

$$\text{MPROX1} = \frac{\text{MPROX } 1}{n}$$

$$\text{MPROX2} = \frac{\text{MPROX } 2}{n}$$

O índice só tem valor comparativo:

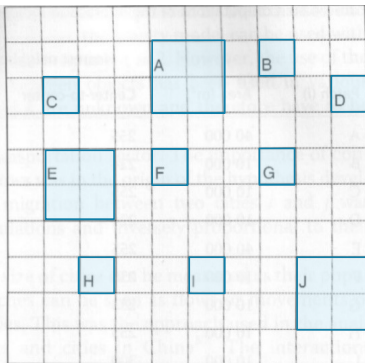
0 – quando todas as parcelas não tem vizinhos do mesmo tipo dentro do raio de pesquisa

- **aumenta** com menor isolamento e com menor fragmentação do habitat

- É preciso sempre definir um raio de pesquisa ou uma distância máxima entre limites - orlas (ou a distância máxima entre centros)

TMEP 2023

Exemplo para a paisagem da figura abaixo



Exemplo de 10 parcelas do mesmo habitat numa paisagem rasterizada de 10 x10 pixels (células) em que cada um deles tem 1ha

$$\text{densidade de parcelas} = \frac{n^{\circ} \text{ de parcelas } (n)}{\text{Total da área } (TA)} = 10/100\text{ha} = \mathbf{0,1/ha}$$

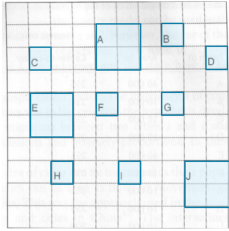
Calculos do índice de proximidade **PROX 2** para a parcela **A** com os vizinhos cujas orlas distam menos de 150m:

Vizinho de A	Área (m ²)	Distância (m)	Área/distância ²
Parcela B	10000	100	1,0
Parcela G	10000	141	0,5
Parcela F	10000	100	1,0
Parcela E	40000	141	2,0
		PROX2 A=	4,5

Distancia de pesquisa: 150m entre orla

TMEP 2023

Exemplo para a paisagem da figura abaixo



Exemplo de 10 parcelas do mesmo habitat numa paisagem rasterizada de 10x10 pixels (células) em que cada um deles tem 1ha

$$EMD = \frac{0,5}{\sqrt{\lambda_p}} = 0,5 / \sqrt{0,1}$$

$$EMD = 158,1 \text{ m}$$

Índice PADRÃO 3 = EMD/OMD (centro-centro)

$$EMD/OMD = 158,1 / 265,8 = 0,59$$

como <1, tendência para as parcelas estarem distribuídas uniformemente

Calculos do índice de proximidade PROX 2 para todas as parcelas A a J com os vizinhos cujas orlas distam menos de 150 m:

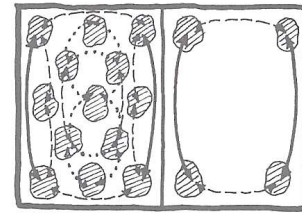
Parcela	Área (m ²)	Distância minima entre vizinhos mais próximos		Índice PROX 2
		Centro-centro	Orla-orla	
A	40 000	255	100	4,5
B	10 000	224	100	5,0
C	10 000	255	100	4,0
D	10 000	224	100	1,5
E	40 000	255	100	5,0
F	10 000	255	100	8,0
G	10 000	283	141	2,5
H	10 000	255	100	4,0
I	10 000	300	200	0,0
J	40 000	354	200	0,0
Média	19 000	265,8	124,1	MPROX2=3,45

TMEP 2023

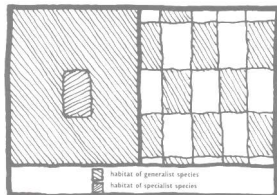
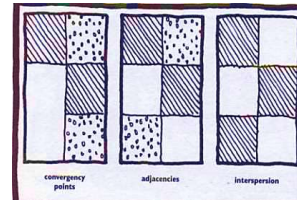
Efeitos da fragmentação da paisagem:

A percepção da escala de fragmentação depende do animal (ou do processo em estudo).

Um habitat finamente fragmentado pode ser percebido como um habitat contínuo para uma espécie que tem uma área de distribuição grande; um habitat largamente fragmentado é normalmente entendido como descontínuo para a maioria das espécies, com exceção daquelas que têm a área de distribuição grande



Habitats para várias espécies (*multi-habitat species*) são favorecidos por pontos de convergência (junções entre 3 ou mais habitats), adjacências (combinações várias entre habitats contíguos) e intercalação de habitats (dispersos pela paisagem em vez de agregados)



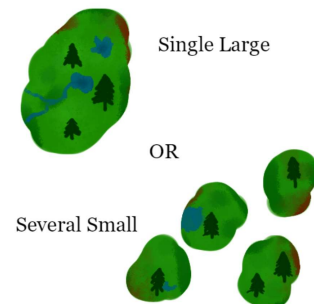
Espécies especialistas serão mais negativamente afetadas por uma fragmentação fina do que as espécies generalistas de equivalente tamanho

TMEP 2023

Implicações da dimensão e organização das parcelas para o design de espaços verdes ou de reservas da natureza

O debate do *SLOSS (Single and Large Or Several and Small)*: uma única e grande mancha vs. várias manchas pequenas?

- um area maior será melhor em termos de riqueza e diversidade de espécies, principalmente as de baixa densidade (Diamond, 1975)
- Mas,
- se as areas pequenas tiverem espécies unicas, um conjunto de áreas pequenas pode ser mais rico e biodiverso (Simberloff, 1986).
- Quais as que podem ser mais afectadas por eventos estocásticos?
- Quais as que facilitam a especiação?
- **Afinal,**
- **Depende do objectivo e deve ser avaliado caso a caso**



TMEP 2023

Complexidade da estrutura da paisagem

Indicadores de configuração:

- Contágio
- Adjacências

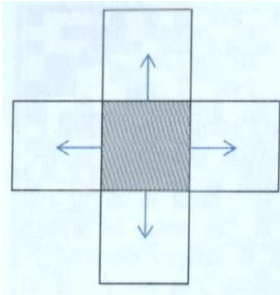
O movimento por uma paisagem “neutral” é fortemente influenciado pela proporção de bom habitat. Quando uma grande % de paisagem é ocupada por bom habitat, favorece o movimento em todas as direcções; quando o bom habitat é fragmentado a probabilidade de percolação decresce

TMEP 2023

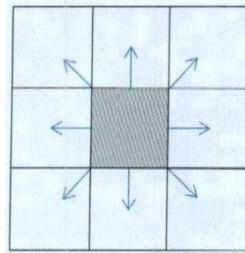
16

A **teoria da percolação** adaptada à ecologia da paisagem implica que os habitats sejam classificados como **Adequados** e **não adequados** ao movimento de um organismo, evento ou processo

Numa paisagem , a passagem entre habitats pode ser feita:



entre os lados das parcelas
(**Percolação lateral**) – regra dos 4 vizinhos, numa imagem raster



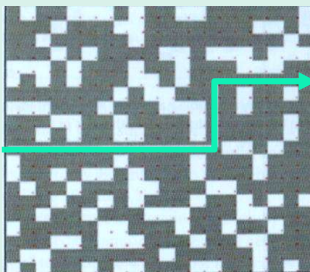
Passagem pode ser pelos lados e pelos vértices (**percolação local**) – regra dos 8 vizinhos em imagens raster

TMEP 2023

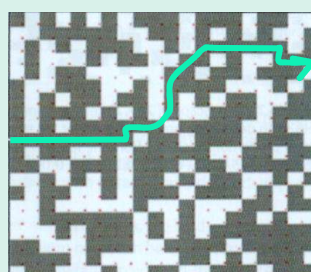
A capacidade de um organismo para mover-se na paisagem depende da proporção de habitat favorável e da agregação desses habitats

- A percolação na paisagem torna-se mais fácil quando existem parcelas de habitat favorável agrupadas e quando a proporção dessas parcelas atinge um determinado valor;
- Há um limiar (valor crítico) de proporção de habitat favorável a partir do qual as paisagens podem permitir a conectividade e esse limiar depende do método usado para avaliar a percolação:
 - Percolação lateral: 0,593
 - Percolação local (lados e vértices): 0,50

Paisagens com células de habitat favorável- cinzento escuro. → Possíveis atravessamentos da paisagem com:



Percolação lateral (proporção de habitat favorável=0,685)



Percolação local (proporção de habitat favorável=0,50)

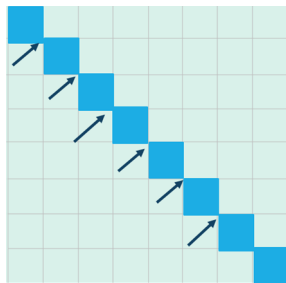
TMEP 2023

“Resistência da paisagem”

- A probabilidade de um organismo se deslocar pela paisagem pode estar comprometida pelo custo em termos energéticos ou de ameaças, que enfrenta ao atravessar a paisagem.
- Pode-se representar a capacidade gradual de um organismo atravessar a paisagem, através da análise de variáveis que permitam quantificar superfícies de Resistência (Atribui valores de uso, de permanência na paisagem a cada parcela de habitat através da conjugação de variáveis topográficas, ambientais, climáticas – uso do solo, pressão humana, estradas, cursos de água, etc..).
- Áreas com pouca Resistência são habitats de corredor ou de uso preferencial; áreas com maior Resistência, são evitados e não atravessados.

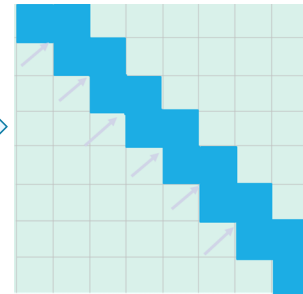
A superfície de Resistência pode ser simulada e manipulada na paisagem conforme o objectivo

Habitat: atravessável □ habitat intransponível ■



Percolação local (o organismo pode passar pelos vértices – brechas (craks) na superfície de resistência)

pode-se desenhar a paisagem de modo a tornar estes locais mais espessos e intransponíveis, se esse for o objectivo



TMEP 2023

A influência dos padrões de paisagem nos movimentos de espécies ou de processos no Sistema

- Animais e eventos podem passar pela paisagem através de habitats favoráveis..
- **Contágio** é uma medida de quão juntos ou agrupados estão as unidades de paisagem do mesmo tipo
- A capacidade de um organismo se deslocar na paisagem depende tanto da proporção de habitat favorável como da agregação das parcelas de habitat
- As mudanças na paisagem que ocorrem através de sucessões primárias ou outros processos (incêndios, tempestades, urbanização, etc.) pode tornar a paisagem mais favorável para umas espécies e menos para outras

TMEP 2023