

PROCESSOS ECOLÓGICOS E PAISAGEM

João Paulo Fernandes

2.5.1 INTRODUÇÃO

A Paisagem é um palimpsesto com milhares de milhões de anos de escrita e reescrita

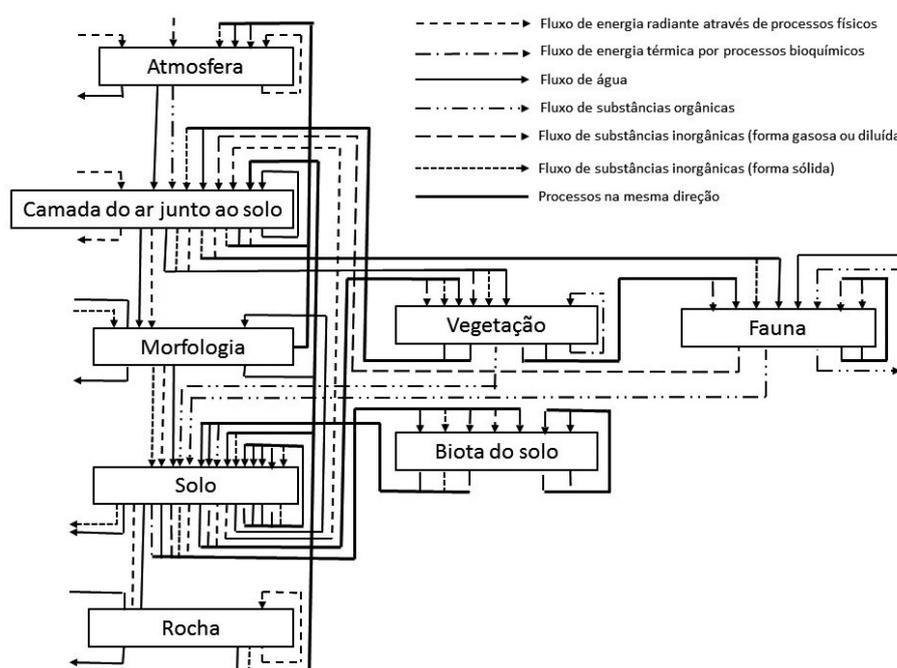
Prof. Garcia Novo

A paisagem, ou, em termos mais generalizantes, o espaço global que nos rodeia (e onde nos inserimos como elementos constituintes) representa, na definição de A. von Humboldt (2011, p. 2), “a globalidade de uma superfície terrestre”, em que podem ser identificados diversos componentes agregados e definidos por fronteiras de maior ou menor nitidez. Mais simplesmente, uma paisagem pode ser considerada como uma área espacialmente heterogénea em que se reconhecem manchas, corredores e a matriz que a enforma e lhe dá coerência (TURNER, 1989), diferenciando-se esses elementos estruturais no que respeita à forma, tamanho, tipo, número e configuração, e conseqüentemente no que respeita à distribuição e interação dinâmica dos componentes e fatores ecológicos (nutrientes, água, energia, espécies, populações e indivíduos). Determinar a distribuição e a dinâmica é compreender a estrutura e funcionalidade da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986). Numa perspetiva dinâmica, constitui a solução, em cada momento, da equação que integra os fatores biofísicos locais, os processos dinâmicos deles decorrentes, as diversas ações decorrentes do uso humano e todas as soluções anteriores dessa equação. É exatamente nas relações e interações entre os padrões espaciais e os processos ecológicos que se focaliza a ecologia da paisagem (TURNER; GARDNER, 2015).

A natureza da paisagem decorre assim da sua heterogeneidade. Ela assume um carácter estrutural e um carácter dinâmico. Com efeito, qualquer paisagem é constituída por complexos estruturais que refletem, em

cada momento, quer a ação de fatores ambientais tendencialmente estáveis (geologia, clima, morfologia), quer a ação e interação cumulativas das modificações determinadas pelos processos dinâmicos naturais (*e.g.*, hídricos, climatológicos, gravíticos), quer pelos diversos usos que os seres vivos deles e a ação humana vão realizando em cada local.

Figura 1 – Modelo do complexo funcional de uma paisagem



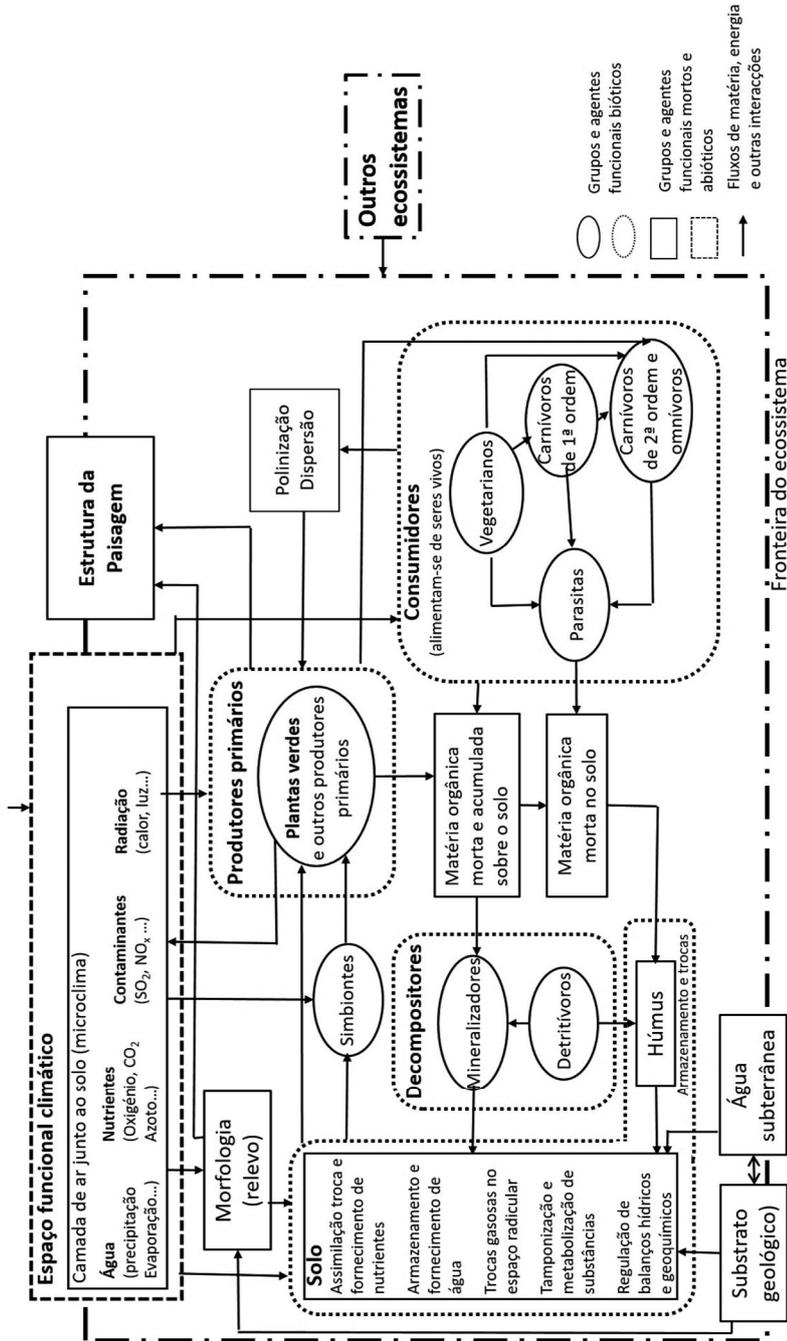
Fonte: adaptado de Richter (1968)

O objetivo principal da investigação dos sistemas ecológicos (perspetivados no seu quadro mais abrangente) é, pois, o balanço dos ciclos e processos de energia e matéria, o que implica, quer o balanço global, quer o balanço de cada elemento *per si*. Por elementos entendem-se os reguladores e os reservatórios. Os primeiros controlam o escoamento da matéria, da energia ou da informação, definindo os caudais e as direções dos fluxos. Os segundos fixam, durante um dado intervalo de tempo, a matéria ou a energia, usam-nos e constroem com eles mais ou novos elementos estruturais. Os reguladores diferenciam-se em reguladores de fluxo e capacidade

e reguladores de decisão, conforme se referem aos fluxos de matéria, de energia ou informação (Figura 1).

A análise dos balanços e processos ecológicos tem de integrar a consideração vertical dos fluxos de energia e matéria referidos a cada local ou ecossistema (Figura 2) bem como os fluxos laterais entre vários locais e ecossistemas, os quais constituem as determinantes organizacionais básicas das paisagens. Exemplos desses fluxos são o escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo da água, o transporte de massas de ar e partículas pelo ar, o transporte gravítico ou hídrico de materiais, os movimentos animais, a dispersão de propágulos vegetais bem como todas as ações dinâmicas específicas das atividades humanas.

Figura 2 – Estrutura e funcionalidade de um ecossistema



Fonte: modificado de Finke (1986)

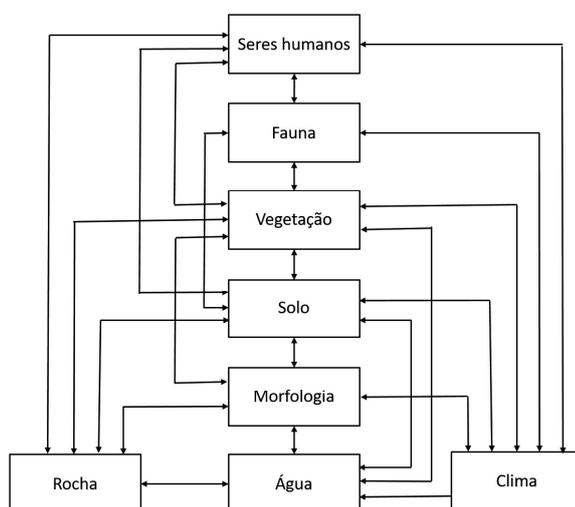
É uma perspectiva integrada que tem de ser tida em consideração quando se procura analisar o modo como funcionam os sistemas paisagísticos em termos da integração dinâmica dos padrões do mosaico espacial (FORMAN, 1995) e os processos ecológicos neles ocorrentes e por eles condicionados e determinados (FU *et al.*, 2011; BUREL; BAUDRY, 2013; REMMERT, 2013).

Este capítulo procura, de forma introdutória, abordar o modo como essa interação entre o caráter e a estrutura da paisagem determinam, regulam e são influenciados na sua dinâmica e evolução pelos sistemas ecológicos neles ocorrentes e por elas determinados.

2.5.2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Quando falamos de paisagem no sentido referido de “solução, em cada momento, da equação que integra os fatores biofísicos locais, os processos dinâmicos deles decorrentes, as diversas ações decorrentes do uso humano e todas as soluções anteriores dessa equação” temos de considerar os seus componentes e as relações funcionais ocorrentes entre eles (Figura 3).

Figura 3 – Interdependência entre os diferentes fatores ambientais bióticos e abióticos



Fonte: adaptado de Tüxen (1931)

Essas relações (processos ecológicos) se materializam de formas distintas:

- processos energéticos: estes processos estão na base de toda a dinâmica da paisagem já que é eles constituem o “motor” dos restantes processos materiais ou imateriais;
- processos hidrológicos: principais processos e vias de transporte de nutrientes, materiais e seres vivos, constituindo o sistema central da dinâmica ecológica e originando por si só sistemas e padrões ecológicos e paisagísticos particulares;
- processos gravíticos: constituem, juntamente com os processos hidrológicos importantes sistemas de movimentação de materiais, ou de promoção dessa movimentação;
- ciclos biogeoquímicos: constituem a integração, para cada nutriente ou substância do seu ciclo de movimentação através dos diferentes componentes estruturais e funcionais da paisagem (clima, geologia, morfologia, hidrologia, solo, biota), das formas como esses ciclos são regulados por cada um desses componentes e das transformações que vão experimentando;
- processos climáticos: correspondem a balanços de energia radiante e irradiante, que constituem o “motor” fundamental de todos os processos ecológicos, determinam funções dinâmicas, como é o caso da circulação geral da atmosfera em termos globais regionais e locais, determinando funções como arranque transporte pelo vento de materiais, propágulos vegetais e outros organismos vivos, processos microclimáticos locais e regionais e sua indução por balanços de radiação (GEIGER *et al.*, 2009). Estes processos determinam a natureza dos grandes sistemas ecológicos (HOLDRIGE, 1967; BAILEY, 2014) ou pedológicos;
- processos biológicos: integram dinâmicas interespecíficas [1] como a competição, predação, simbiose, mutualismo ou predação (GRIME, 2006); as dinâmicas intraespecíficas [2] como os processos de colonização, competição ou facilitação; os processos dinâmicos na paisagem [3] como a conectividade, complementaridade, permeabilidade, corredores, barreiras; e ainda a dinâmica de

populações [4] a que estão associados os processos de colonização, extinção e especiação;

- processos antrópicos: correspondem à criação de habitats novos ou de substituição, os impactos destrutivos e criativos sobre a generalidade dos processos ecológicos.

Particularmente, materializam-se ao longo do tempo, assumindo sempre formas distintas e determinando uma permanente evolução da natureza e funcionalidade de cada paisagem. Esta dinâmica decorre exatamente dos processos referidos, nas suas diferentes formas de ocorrência e manifestação, determinando processos de sucessão ecológica que se considera atualmente que obedecem ao “*paradigma do desequilíbrio*”. Este paradigma considera que os sistemas naturais são abertos, ou seja, têm de ser colocados no contexto da sua envolvente, da qual podem fluir regular ou aleatoriamente organismos e materiais. Esses fluxos são especialmente importantes, devido à sua influência potencial na estrutura e funcionalidade dos sistemas. O paradigma do desequilíbrio enfatiza o processo, o modo como os sistemas se comportam realmente, ou seja, como a sua estrutura e trajetória são determinados. A metáfora científica deste paradigma é “*dinâmica de manchas*” ou “*manchas cambiantes*” (PICKETT *et al.*, 1992, p. 71).

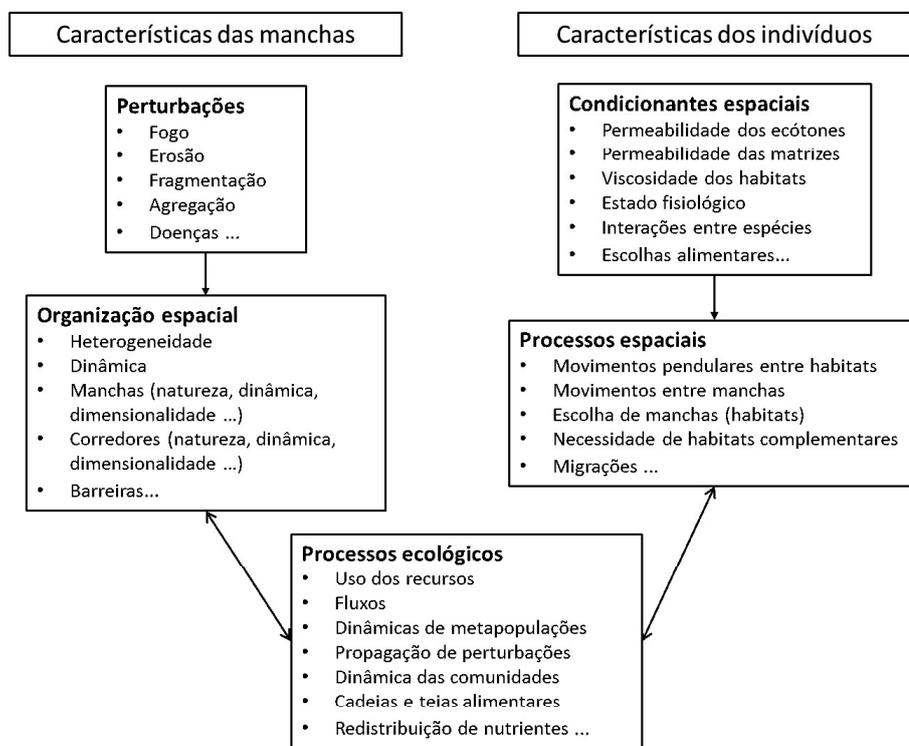
Essa dinâmica se materializa, portanto, numa interação complexa entre estruturas espaciais e processos ecológicos evoluindo e assumindo em consequência, novas formas de materialização e manifestação e, conseqüentemente, de abordagem e consideração metodológica (Figura 4).

Esses processos ecológicos determinam as funções da paisagem, decorrentes das características locais, organização estrutural e dinâmica multiescalar. Essas funções correspondem a funções de oferta, já que, direta ou indiretamente, são elas que irão satisfazer as necessidades dos seres vivos e dentro destes, naturalmente, também dos seres humanos (DE GROOT, 2006).

A dinâmica gerada pela interação dos elementos estruturais, em forma de fluxos contínuos de elementos ecológicos, determina e permite prever, por outro lado, o funcionamento da paisagem, nomeadamente no que respeita à origem, evolução, estabilidade e viabilidade dos elementos estruturais que compõem as paisagens. Tais interações entre elementos estruturais estão, contudo, limitadas à ecologia do local em que se inserem, constituindo-se esta como um condicionante natural do carácter do local (HUGGETT, 2002).

De forma complementar, operam na paisagem processos ecológicos, com escalas espaciais e temporais distintas das que os nossos sentidos ou registos históricos são capazes de apreender, cujo funcionamento e intensidade estão fortemente relacionados com a estrutura da paisagem e a dinâmica do seu mosaico. Esta interação é o aspeto fundamental que a Ecologia da Paisagem explora, com o fim de promover uma melhor compreensão dos processos ecológicos (TURNER *et al.*, 2001).

Figura 4 – Um conceito metodológico para o estudo de estruturas e processos espaciais



Fonte: adaptado de Wiens *et al.* (1993)

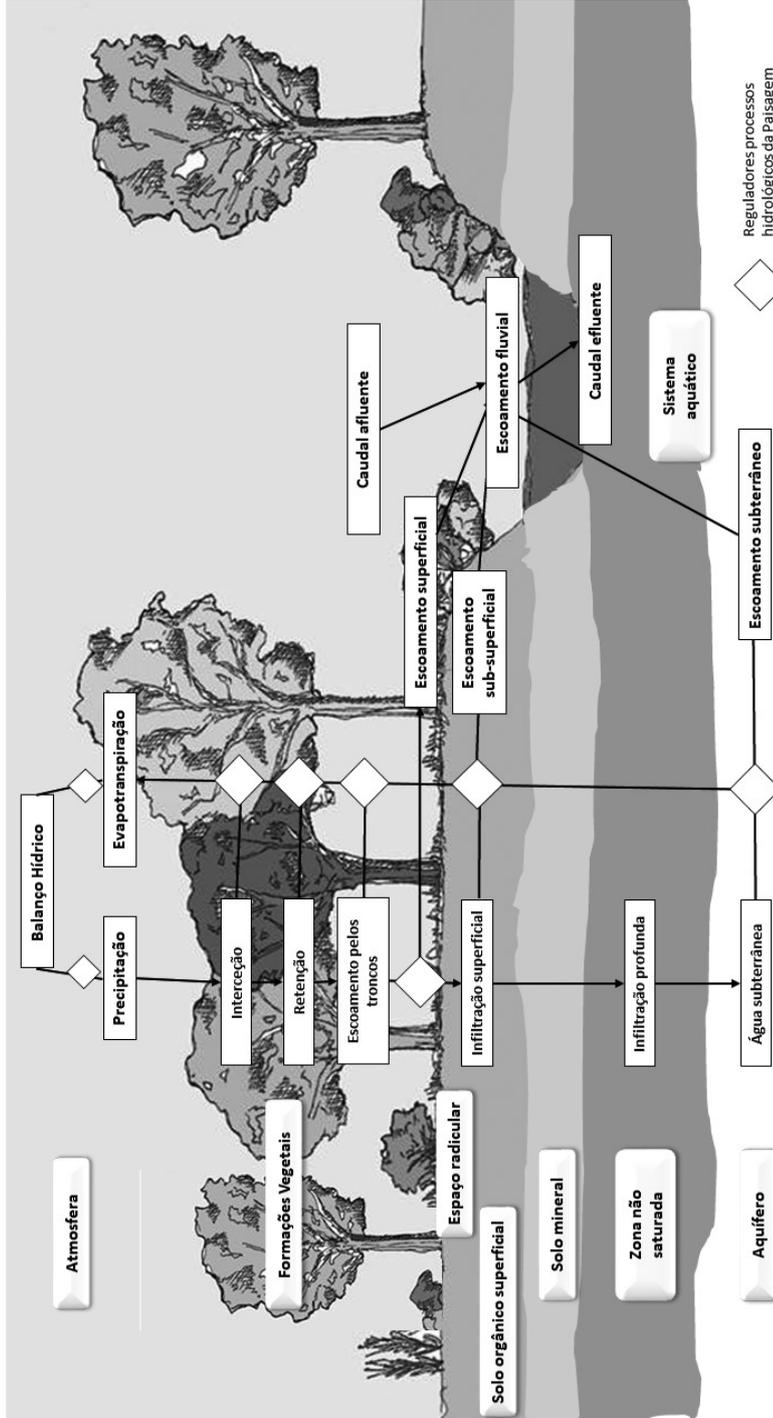
2.5.2.1 Hidrossistemas e morfossistemas

O regime hídrico é um dos principais processos dinâmicos da paisagem determinando e condicionando outras funções como o transporte sólido (erosão, sedimentação), a movimentação de terrenos (solifluxão ou outros processos de instabilidade de encostas), os ciclos de nutrientes (meteorização,

dissolução e transporte), apenas para citar os mais relevantes, a dinâmica de formação do solo ou de meteorização geológica.

É regulado em termos de macro escala pelas características climáticas locais (decorrentes da circulação geral da atmosfera) sendo afetado pelas características locais ao nível do balanço hídrico local (precipitação/evaporação-interceção-transpiração-infiltração). Considerando os processos de escoamento superficial e subterrâneo bem como a infiltração, verifica-se a influência diferenciada de variáveis de superfície (estrutura do solo, rugosidade, coberto, declive, micromorfologia) sendo que o escoamento fluvial é determinado pelas suas características hidráulicas dos mesmos (rugosidade, declive, raio hidráulico, tipo de substrato, vegetação, micromorfologia) (Figura 5).

Figura 5 – Processos funcionais do sistema hidrológico numa bacia hidrográfica



Fonte: elaborado pelo autor

É o grande veículo de transporte ao nível da paisagem, quer por meio dos processos de arranque, erosão, transporte e sedimentação, quer dos processos de infiltração, ascensão capilar e evapotranspiração que são críticos em termos da dinâmica dos sistemas hídricos subterrâneos, mas particularmente dos processos de diferenciação e evolução pedológica.

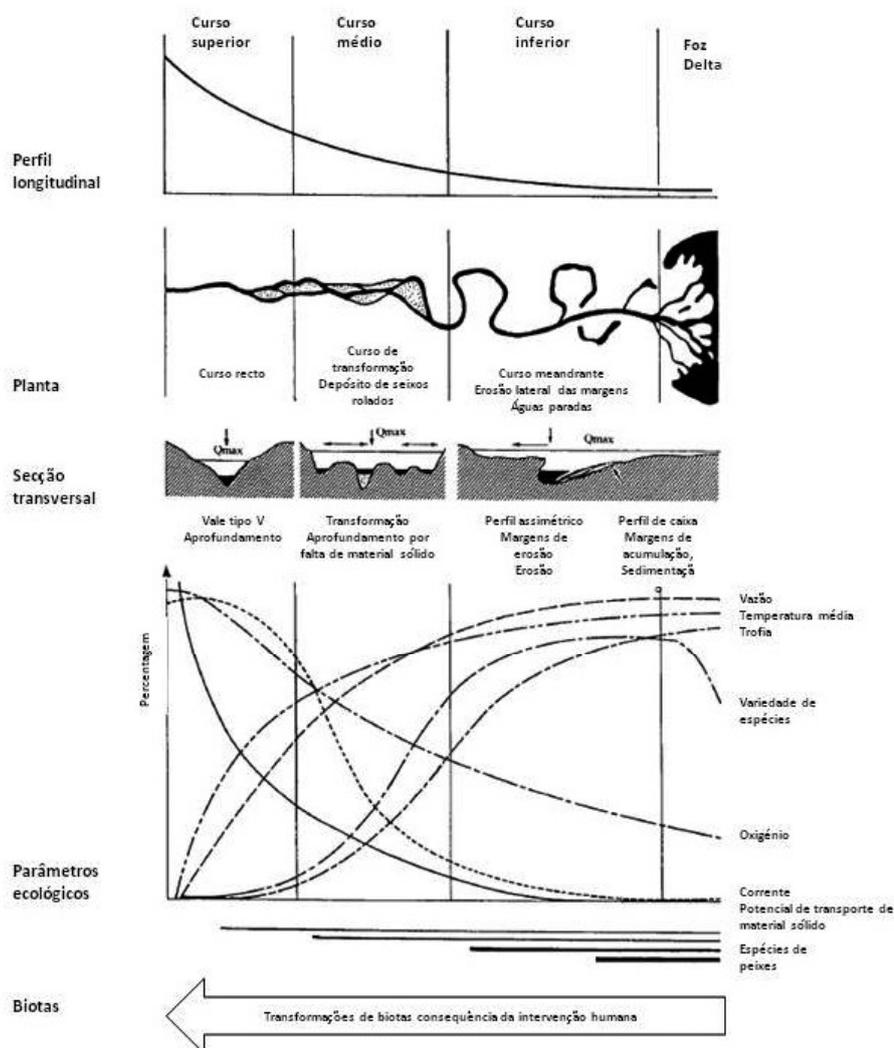
A sua forma de expressão mais determinante em termos de processos ecológicos são os sistemas fluviais cujo carácter e funcionalidade dependem direta e indissolúvelmente das características da bacia hidrográfica por eles drenada e obviamente dos processos climáticos e hidrogeológicos ocorrentes na Bacia, assim como, de uma forma determinante, das características do uso do solo da sua superfície.

Os sistemas hídricos são intrinsecamente dependentes do modo de manifestação local do ciclo hidrológico:

- o regime pluvial e o balanço hídrico determinam, em grande medida, o regime fluvial, funcionando, ao mesmo tempo, a componente geológica, pedológica e de coberto vegetal ou dos usos antrópicos como os reguladores desse regime;
- a morfologia do terreno determina não apenas a energia dos escoamentos, os processos de erosão e transporte, como também a maior ou menor probabilidade de ocorrência de espaços de retenção superficial ou subsuperficial e a origem de formas particulares de águas interiores como são os lagos, as charcas, os pauis e as turfeiras;
- o coberto vegetal, assim como os usos antrópicos da bacia hidrográfica e terrenos adjacentes vão também agir, não só como reguladores dos fluxos hidrológicos, mas também da natureza química dos sistemas hidrológicos por meio da libertação ou absorção de substâncias e compostos químicos presentes nos fluxos hidrológicos (precipitação, escoamento superficial ou subsuperficial) ou pela libertação voluntária (caso dos sistemas antrópicos de substâncias de variadíssima natureza diretamente nos sistemas fluviais ou a eles afluentes);
- a biota dos diferentes tipos de águas interiores e dos ecótonos específicos a ele associados que, integrando todas estas influências apresenta uma individualidade e dinâmica específica que confere natureza autónoma a cada sistema local *per si*;

Temos ainda que os ecossistemas de águas interiores são muito mais que os corpos de água individualizáveis e incluem todos os ecossistemas que, de uma forma ou de outra são afetados e determinados pelos sistemas hidrológicos. Destes ecossistemas importa realçar as várzeas e todas as planícies de inundação e leitos de cheia.

Figura 6 – Variação das distintas dimensões e características e processos de uma linha fluvial tipo ao longo do seu traçado



Fonte: adaptado de Binder (1998)

Os ecossistemas hídricos constituem ecossistemas de particular importância em termos dos processos ecológicos ocorrentes na paisagem, dado o seu carácter de ecótono com as consequentes trocas intensas de substâncias e materiais de acordo com gradientes de humidade, luminosidade e de natureza do substrato. Por outro lado, no caso sistemas fluviais, o carácter variável do seu caudal e energia de escoamento ao longo do seu traçado determina, igualmente, gradientes dinâmicos geradores de intensas variações na heterogeneidade desses ecossistemas (Figura 6) e dos processos a eles associados.

Os ecossistemas hídricos são capazes de, devido à sua complexa natureza e dinâmica ecológica, assegurar sustentavelmente funções básicas como a disponibilidade em recursos hídricos, a estabilidade dos terrenos adjacentes, a proteção contra cheias e secas, a disponibilidade em recursos piscícolas, cinegéticos e florísticos, que são os principais serviços ecológicos por eles garantidos.

Esses serviços assumem um valor ecológico particular, já que, pelo seu carácter linear e abrangente da totalidade do território, os ecossistemas fluviais asseguram funções de conectividade de carácter único ao constituírem redes que interligam espaços diversificados e elementos potenciadores duma diferenciação da estrutura e capacidade de sustentação ecológica do território. Potenciam a existência de manchas de recursos e perturbação de natureza muito diversa, ao assegurarem para inúmeras espécies, vias de intercâmbio genético capazes de contribuir para a existência de populações viáveis, ao favorecerem ou ao associarem-se a condições ecológicas locais particulares, potenciadoras de formações e capacidades específicas.

Figura 7 – Efeito de filtro e de extração exercido pela vegetação ripícola (mata ciliar) sobre as substâncias químicas dissolvidas nos fluxos subsuperficiais provenientes, por ex., de explorações agrícolas contíguas



Fonte: Fernandes e Cruz (2011)

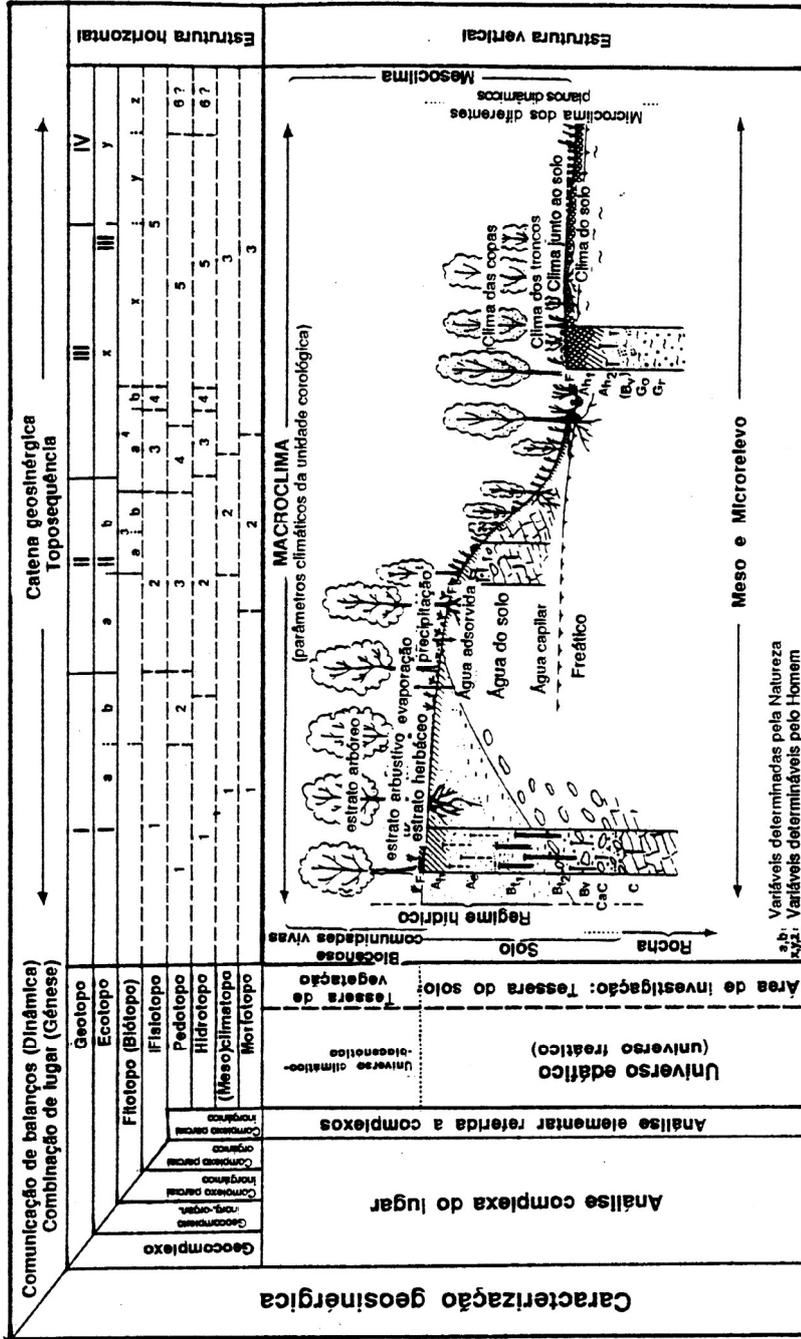
Um exemplo dessa diversidade de funções e inter-relações ecológicas é a realizada pela vegetação das margens que preenche uma função da maior importância na garantia da qualidade da água. As suas raízes funcionam com um filtro das substâncias dissolvidas que afluem às linhas fluviais a partir dos terrenos marginais (Figura 7). Essa ação é concretizada pela absorção de nutrientes em excesso (que de outro modo poderiam causar eutrofização) e pela metabolização pelos microrganismos associados às raízes de muitas outras substâncias, com relevo para agroquímicos que poderiam vir a ser tóxicos para a flora ou fauna ou para os utilizadores dessa água para beber ou fins recreativos.

Já a morfologia (relevo) tem uma importância reguladora extremamente importante em termos da geodinâmica externa. Com efeito, esta variável, por meio das suas relações com o solo e o seu regime hídrico próprio (infiltração, evaporação, ascensão capilar etc.), o regime hídrico superficial, o microclima local, constitui uma das variáveis determinantes da dinâmica da paisagem (LESER; KLINK, 1988). De acordo com os autores, o relevo, por meio das suas influências reguladoras, estruturadoras e alteradoras da substância dos ecossistemas da paisagem, constitui uma variável dinâmica de significado básico dado:

- estabelecer relações funcionais entre os diversos fatores ecológicos individuais, os quais podem ser descritos com exatidão com a sua ajuda;
- determinar uma estruturação espacial visível e quantitativamente descritível em qualquer escala, que determina relações funcionais geoecológicas globais.
- Entre as características importantes na caracterização morfológica elencam-se (GRIMM *et al.*, 1964; LESER; STAEBLEIN, 1975):
- concavidade: importante na determinação da intensidade da erosão;
- declive: importante na determinação de aspectos como exposição, erodibilidade, energia do escoamento, estabilidade de encostas (Nota: como já atrás ficou referido, as classes em que se classifica o declive devem ser adaptáveis aos diversos fins a que se destina o estudo, devendo, portanto, ser o mais detalhadas possível);
- rugosidade: importante na definição de linhas condutoras ou de obstáculos aos processos de superfície;
- degraus e arestas: fundamentais na definição de pontos de inflexão do sentido e intensidade dos processos de encosta;
- linhas de escoamento: indicadoras dos padrões de dinâmica superficial, nomeadamente por meio da tipologia de vales;
- micromorfologia: indicadora de particularidades como centros de divergência ou de convergência;
- catenas: indicadoras de sequências atuais ou residuais de linhas de sentido dinâmico;
- orientação e exposição: fundamental na determinação da incidência de fatores de natureza regional e local como o vento, as brisas ou a exposição à radiação solar.

Todos estes fatores se integram espacial e funcionalmente interagindo com os restantes processos (climáticos, gravíticos, hidrológicos, pedológicos, bioecológicos) originando a natureza e heterogeneidade própria das paisagens (HABER, 1990) (Figura 8).

Figura 8 – A paisagem como objeto de integração espacial e funcional



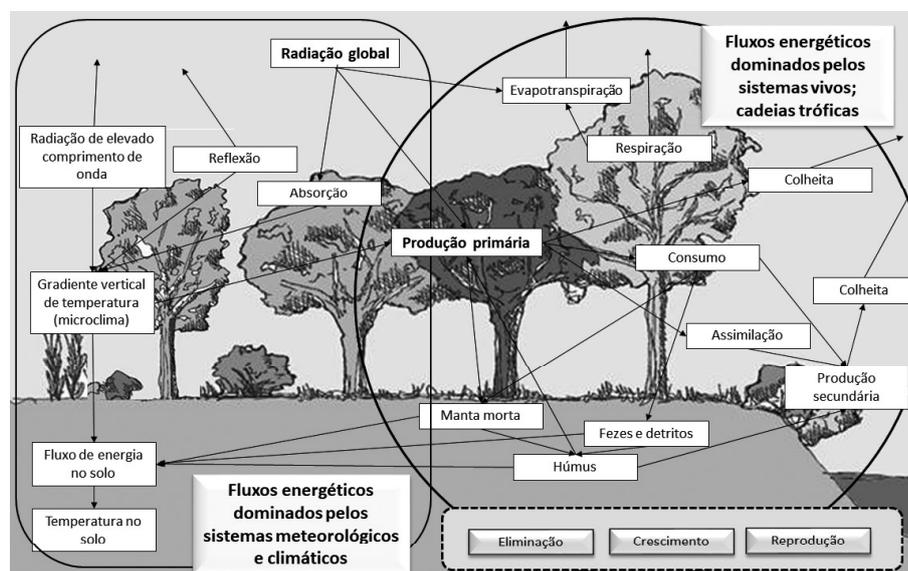
Fonte: adaptado de Leser (1991)

2.5.2.2 Ciclos biogeoquímicos e fluxos de energia

Os processos associados aos ciclos biogeoquímicos e energéticos percorrem todos os planos funcionais da paisagem (atmosfera, coberto vegetal, solos e substrato geológico, sendo os principais agentes de transporte a água, o vento e a gravidade).

Os determinantes fundamentais dos processos energéticos da paisagem (e como tal dos processos dinâmicos nela ocorrentes) são, em primeiro lugar, o sistema climático e, em particular, o balanço de radiação e todas as consequências que determina, desde a circulação geral da atmosfera até à diferenciação microclimática e decorrente contribuição para a heterogeneidade da paisagem. Em segundo lugar temos os sistemas biológicos que ao transformarem a energia radiante em energia química e assegurando a sua circulação contribuem decisivamente para a dinâmica, funcionalidade e natureza das paisagens (Figura 9).

Figura 9 – Principais processos e balanços energéticos na paisagem



Fonte: elaborado pelo autor

A sua importância como determinante dessa dinâmica pode ser resumida do seguinte modo (LESER; KLINK, 1988):

- o clima determina de modo dominante a meteorização das rochas. Por meio da insolação, precipitação, gelo e vento como elementos dominantes constitui o protagonista fundamental do processo de modelação do relevo e de desenvolvimento do solo;
- a temperatura, a precipitação e a evaporação controlam os processos químicos, físicos e biológicos do desenvolvimento do solo;
- a precipitação, o vento e a evaporação regulam os processos do regime hídrico, determinantes de toda a dinâmica e balanços de materiais da paisagem, já que a água é o principal veículo desses fluxos;
- o clima determina as condições de vida da globalidade do complexo biótico do ecossistema ao regular os balanços térmicos e hídricos;
- o clima determina e regula a viabilidade e o conforto das instalações humanas na paisagem;
- determina a circulação local do ar (regime de ventos e brisas) e, conseqüentemente, os fenómenos de acumulação (indutores de geada, nevoeiros, acumulação de poluentes, maior desconforto climático);
- determina os processos de dispersão de substâncias (poluentes ou não) regulando situações de acumulação (associadas a fenómenos de inversão térmica) ou de dispersão (associados a padrões regionais de ventos).

Como referido, o outro grande sistema que se pode identificar como determinante da natureza e funcionalidade de uma paisagem é o dos ecossistemas e das trocas de energia e materiais neles envolvidos.

Com efeito, é a este nível que ocorre a transformação da energia radiante em energia química (por meio da fotossíntese) e todo o fluxo desta a partir das cadeias tróficas. Este fluxo, por sua vez, associa-se aos processos hidrológicos, climáticos, geomorfológicos e pedológicos para a determinação dos grandes padrões dinâmicos dos processos cíclicos biogeoquímicos que integram, deste modo, todos os fatores energéticos (*e.g.*, radiação, gravidade, bioquímica) envolvidos nos sistemas paisagísticos.

Ao nível dos ciclos biogeoquímicos, os sistemas vivos, articulados com os sistemas climáticos, hidrológicos e particularmente com os pedológicos, constituem os grandes reguladores e agentes motores desses ciclos. Essa ação envolve não só a transformação (combinação ou decomposição), como a acumulação e disponibilização, sendo o conjunto da biomassa terrestre

o espaço dinâmico onde decorre a parte mais significativa dos processos biológicos, físicos, químicos, físico-químicos e bioquímicos que estão envolvidos nesses ciclos de materiais e de energia.

O coberto vegetal especificamente, apesar de ser o mais circunstancial de todos os elementos característicos e caracterizantes da paisagem, preenche um papel regulador fundamental nos seus ciclos, ao afetar todos os processos de superfície (e.g., escoamento superficial, transporte sólido, produtividade primária e secundária, microclima) e a interligação entre os tramos aéreos e subterrâneos dos fluxos dinâmicos.

Desta forma e a título de exemplo, é a este nível que é regulado grande parte do balanço hídrico local (Figura 5) e, conseqüentemente, dos processos de ascensão, deposição e transporte lateral de materiais, do balanço energético e do balanço de informação.

O solo, por sua vez, como um dos elementos mais integrados e mais determinante de toda a dinâmica da paisagem, constitui o universo ao nível do qual ocorrem alguns dos mais importantes processos reguladores dessa dinâmica, quer em termos de ciclos biogeoquímicos e seus fluxos locais, quer em termos de teias alimentares e de relações interespecíficas. Funções como a permeabilidade, a capacidade de campo e a capacidade utilizável e as suas restantes funções reguladoras do regime hídrico, a sua capacidade disponibilizadora e mobilizadora de nutrientes e outros compostos químicos, a sua capacidade de tamponização, a diversidade do seu quimismo em função das condições locais (por exemplo o seu pH que influencia a disponibilidade de nutrientes ou a tipologia de reações químicas dominantes) são exemplos da enorme diversidade de formas como os solos determinam os processos dinâmicos da paisagem (DE VARENNES, 2003).

Estas características transformam o solo (considerado como um todo, ou tomado como entidade composta, quer estrutural – diferentes horizontes, quer funcional – diferentes ciclos dinâmicos envolvidos (água, nutrientes, energia), quer organizativamente – diferentes tipologias processuais (físicas, químicas e biológicas), num elemento capital na caracterização de um local e da sua dinâmica.

Leser e Klink (1988) resumem do seguinte modo o significado funcional do solo:

- o solo constitui fundamento para a vegetação espontânea e cultivada, e cria condições locais específicas e fornece à vegetação

água e nutrientes cujas quantidades disponíveis são função das suas propriedades;

- é no solo que decorre a maior parte das trocas orgânicas e inorgânicas de materiais no âmbito dos ecossistemas. São as características do solo que regulam a intensidade destas trocas;
- a estrutura e a espessura do solo determinam as condições de humidade e arejamento do espaço de enraizamento e a quantidade de água disponível para as plantas. A proporção de água evaporada relativamente à precipitação depende, em grande medida, da capacidade de retenção do solo, assim como a quantidade de água disponível para as plantas;
- o solo atua como filtro. A sua composição determina as possibilidades, vias e taxas de transporte de água e das substâncias nela dissolvidas;
- no solo acumulam-se substâncias estranhas em forma insolúvel ou fracamente solúvel (função de retenção), as quais podem então ser metabolizadas ou sofrer alterações químicas que as reinserem nos ciclos de materiais e nos processos biológicos (função de metabolização);
- o solo e as suas funções reguladoras influenciam importantes processos dinâmicos da paisagem como, por exemplo, o escoamento e o transporte sólido;
- o solo constitui suporte e material para a maioria das atividades humanas, sendo as suas características propiciadoras ou inibidoras dessas atividades.

A que se pode acrescentar:

- a biota do solo, assim como a matéria orgânica neles presentes, associados às características físico-químicas de cada solo são os mais ativos agentes reguladores e transformadores de sistemas geoquímicos em comparação com qualquer outro componente da paisagem;
- o solo é o mais ativo agente tamponizador dos diferentes sistemas ambientais;
- o solo por meio das suas características, físicas, físico-químicas, químicas e biológicas é o mais eficaz retentor e metabolizador de

substâncias químicas e da matéria morta (funções de decomposição e metabolização).

Por sua vez, o subsolo, ou melhor, o substrato geológico, representa, tal como o solo, uma variável extremamente estável, pelo que condicionadora dos padrões básicos da organização estrutural de um lugar, logo, da sua dinâmica. Com efeito, o subsolo joga um papel relativamente indireto na dinâmica de um lugar ao regular funções de grande inércia como são o balanço hídrico subterrâneo (hidrogeologia) ou a formação de solos e a libertação de nutrientes para estes. Apenas em termos das suas condições estáticas joga um papel direto como é o caso da estabilidade de encostas ou de planos sobre espaços cársticos, ou ainda de riscos geológicos ligados à tectónica (sismos, diapiros, vulcões, argilas expansivas) ou à geodinâmica externa (subsidência natural, dunas, inundações, erosão) (CARCEDO, 1987). Tomam assim particular importância os seguintes grupos de funções:

- regulação da dinâmica hídrica – permeabilidade, condutividade, capacidade de armazenamento;
- regulação da formação de solo e disponibilização de nutrientes – alterabilidade, potencial de corrosão;
- regulação de funções estáticas – estabilidade de encostas e comportamento sísmico.

2.5.3 OS SISTEMAS VIVOS

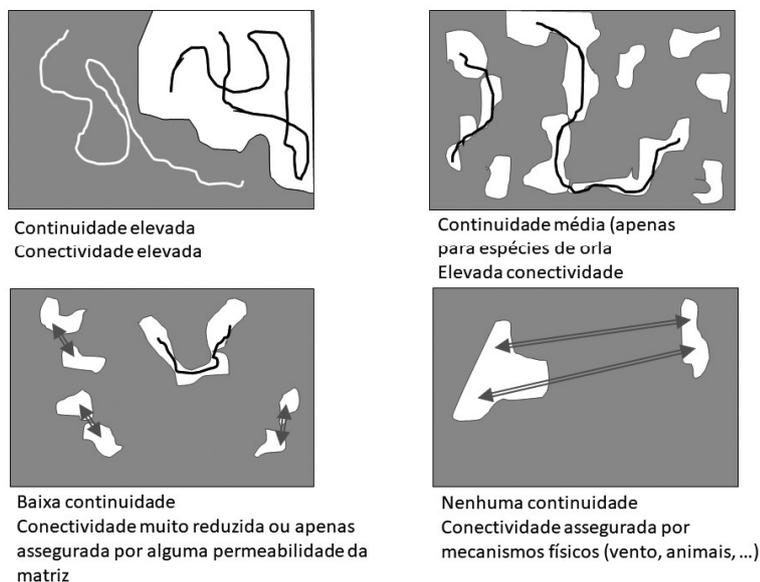
Continuidade, conectividade, complementaridade e fragmentação – tudo isto são conceitos centrais no quadro dos procedimentos de análise e gestão do território, pelo que importa clarificar os conceitos e desenvolver e testar instrumentos de caracterização do território que enquadrem adequadamente estes conceitos e permitam utilizá-los adequada e compreensivelmente nos procedimentos de avaliação e gestão do território.

2.5.3.1 Continuidade, permeabilidade e fragmentação

Esses conceitos estão intimamente relacionados dado que se referem à integridade ou partição, subdivisão ou isolamento de um território com características homogêneas (Figura 10).

Essa homogeneidade assume uma grande importância do ponto de vista ecológico, em particular para espécies animais que exijam habitats homogêneos não perturbados de grandes dimensões. Esse nível de exigência varia desde a incompatibilidade total com zonas de orla até uma certa tolerância a essas zonas. Essa diferentes tolerâncias se materializam na geometria “aceitável” dos referidos territórios. Outro aspecto que interessa referir, é o que se refere à dimensão do referido território da perspectiva da viabilidade da espécie ou comunidade a ele associado e dependente da sua integridade e extensão. É exatamente neste contexto que há que analisar a temática da fragmentação, já que há que distinguir entre um território conjuntamente homogêneo e a eventual heterogeneidade dos recursos e características edafoclimáticas e geomorfológicas subjacentes. Importa clarificar se a atual homogeneidade não corresponde a uma forma de perturbação e, portanto, se uma prática gestora que a mantenha, não constituirá uma perturbação de variável significado e agressividade.

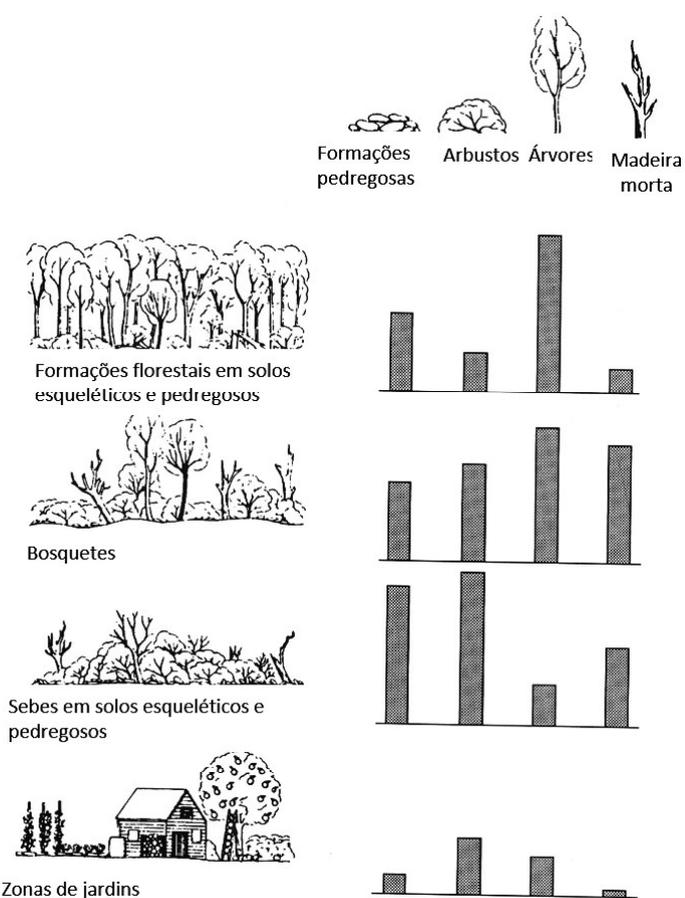
Figura 10 – Diferentes tipos de continuidade (permeabilidade estrutural) e conectividade em contextos de diferentes graus de fragmentação da paisagem



Fonte: elaborado pelo autor

Kleyer (1994) utilizou o critério de semelhança estrutural (ocorrência de estruturas de natureza e função semelhante) para tentar identificar e caracterizar a continuidade real e estrutural de uma paisagem (Figura 11) num determinado momento e conjuntura de uso.

Figura 11 – Fatores de continuidade funcional associada a elementos estruturais correspondentes a diferentes tipologias de habitat



Fonte: adaptado de Kleyer (1994)

2.5.3.2 Complementaridade e conectividade

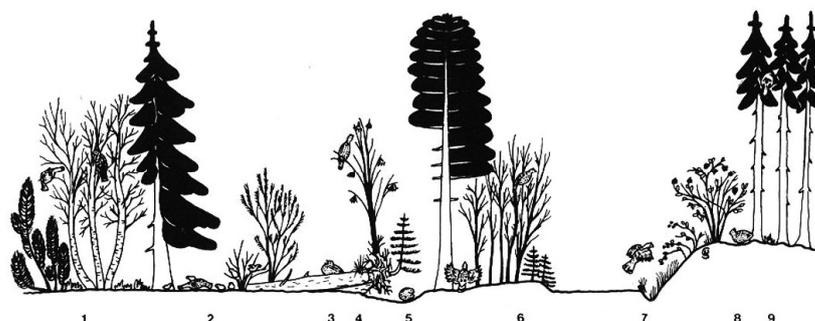
Relacionados com os conceitos anteriores estão os conceitos de complementaridade e de continuidade. O primeiro refere-se às situações em que uma espécie ou uma comunidade não depende apenas de um tipo de território (ou habitat) mas sim da dois ou mais que se complementam nos “serviços” que garantem a essa população ou comunidade.

O conceito de conectividade refere-se à existência de espaços, que pela sua natureza e disposição permitem a movimentação entre diferentes manchas homogêneas ou entre habitats complementares. Essa conectividade pode ser estrutural (estrutura territorial com a mesma natureza e uma geometria de implantação geográfica que assegure a continuidade material) ou funcional, quando ela é garantida por estruturas semelhantes ou por manchas distanciadas de tal modo que não impeçam a movimentação entre elas.

Já o conceito de complementaridade, sendo um conceito também estrutural e sistêmico não pode ser considerado da mesma perspectiva dos conceitos anteriores, já que se refere essencialmente a processos e características da paisagem referidas a uma única espécie, ou, em algumas situações, a grupos de espécies.

Temos, assim, situações em que a existência de uma espécie está associada e dependente da existência complementar de um conjunto de nichos e habitats (Figura 12) e de que o exemplo do lince ibérico é bem ilustrativo ao exigir a existência complementar de áreas de caça abertas e de áreas de abrigo, estabelecimento e reprodução em formações de matos.

Figura 12 – Habitat: elementos primários e secundários



Componentes do habitat da *Tetrastes bonasia*. À direita elementos primários e à esquerda elementos secundários ou complementares:

1. *Rebentos de bétula como alimentação de inverno*
2. *Clareiras com zimbro e urzes para criação dos juvenis*
3. *Troncos caídos como local de canto nupcial*
4. *Sorveira brava como local de abrigo contra o vento*
5. *Local de postura*
6. *Formação de Faias como habitat de inverno*
7. *Arbustos com bagas como local de alimentação*
8. *Depressão arenosa seca*
9. *Refúgio em formações de abetos*

Fonte: adaptado de Blab (1993)

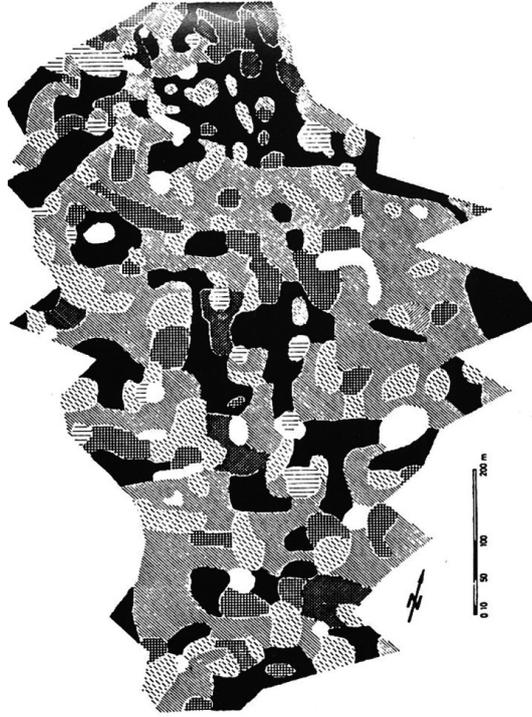
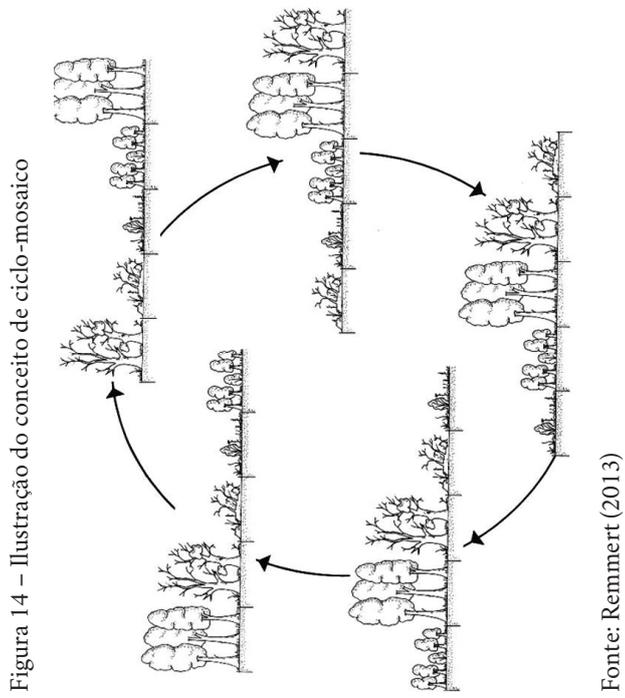
Já da perspectiva da complementaridade funcional de diferentes estruturas no quadro de uma paisagem, temos o exemplo das linhas de água com as suas funções de:

- permeabilidade longitudinal – facilidade de progressão de movimentação através de habitats adversos ou inóspitos, linhas de orientação (por ex. na migração de aves);
- permeabilidade transversal – efeito de barreira.

Ou temos o exemplo da complementaridade entre elementos estruturais ocorrentes na paisagem que oferecem em simultâneo a distintas espécies diferentes tipos de “serviços” ecológicos, permitindo, desse modo, a sua existência no quadro daquela paisagem específica (Figura 13).

A heterogeneidade é uma característica inerente a cada paisagem decorrente do padrão natural de ocorrência dos recursos e dos padrões de uso e perturbação. Manifesta-se de muitas formas e afeta os processos da paisagem de modos muito variados. Em primeiro lugar, temos de considerar a heterogeneidade estrutural, que decorre da própria natureza dos recursos e processos ecológicos. Dos recursos, na medida em que eles vão determinar características distintas de cada fator ambiental, dos processos porque, por meio dos mecanismos de perturbação vão introduzir modificações localizadas, mais ou menos persistentes que originarão novos padrões estruturais e funcionais daquela paisagem. Outra expressão da heterogeneidade estrutural tem a ver com a própria dinâmica dos sistemas naturais e dos processos ecossistêmicos ou ainda da dinâmica de uso e perturbação da paisagem.

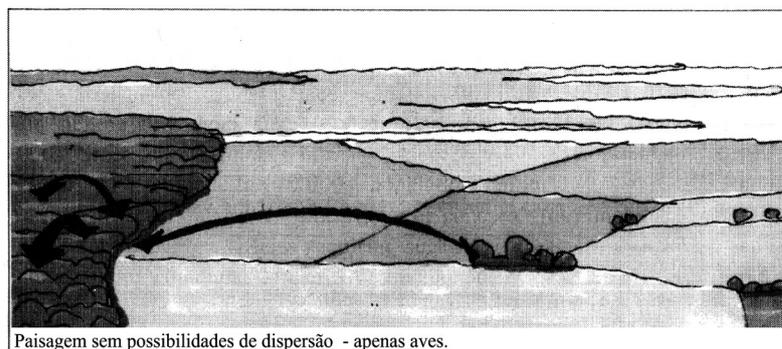
Com efeito, quando consideramos uma formação clímax ou mesmo uma formação intermédia da sucessão ecológica, verificamos que elas, longe de serem homogêneas e tendencialmente uniformes, são estruturalmente heterogêneas. Essa heterogeneidade decorre da própria variedade e aleatoriedade dos processos ecológicos quando considerados em escalas amplas, as quais determinam que uma formação vegetal, mesmo num substrato homogêneo, não se desenvolva homogeneamente gerando, de forma mais ou menos progressiva, padrões em mosaico, diferenciados inicialmente por diferentes padrões evolutivos ou diferentes características ao nível das comunidades locais. Esse mosaico, por si só evoluirá e consolidar-se-á, gerando num estágio sucessional concreto, a coexistência de manchas com diferentes estágios evolutivos ou características ecológicas. Esse padrão de mosaico acentuar-se-á, naturalmente com a ocorrência de perturbações localizadas, como um raio uma doença ou outro fator diferenciador de carácter mais ou menos pontual espacial e temporalmente. Contudo, o mosaico continua a desenvolver-se de acordo com a dinâmica da sucessão, pelo que está numa permanente diferenciação e integra no mesmo momento elementos correspondentes a diferentes estágios sucessionais. Essa dinâmica, como referido, ocorre em qualquer estágio da sucessão de uma estrutura de matriz e determina que, seja nos estágios intermédios, seja no clímax coexistam manchas em diferentes pontos da evolução, progredindo ou regredindo gerando aquilo que Remmert (2013) designa por ciclo-mosaico (Figura 14).



Fonte: Remmert (2013)

Outra perspectiva em que tem de ser considerada a heterogeneidade da paisagem é a heterogeneidade induzida, cuja forma mais extrema é aquela que decorre das ações humanas de gestão e utilização do território.

Figura 15 – Processo sucessivo de perda da conectividade por fragmentação e destruição crescente das manchas remanescentes



Fonte: adaptado de Hansen-Møller (1994)

Essa heterogeneidade induzida está associada quer a processos de homogeneização (monoculturas agrícolas ou florestais), anulando a diversidade estrutural natural, ou a situações de fragmentação de matrizes interrompendo a sua continuidade, introduzindo elementos estranhos (e eventualmente agressivos no mosaico assim criado e gerando impactos particularmente significativos na permeabilidade e continuidade ecológica de uma paisagem). Isso faz com que sejam criadas condições de crescente dificuldade para a movimentação das espécies através da paisagem que passou de uma estrutura homogénea para um mosaico cada vez mais erodido de vestígios das formações primitivas (Figura 15).

Esse processo de fragmentação e de progressivo comprometimento das manchas vestigiais remanescentes vai não só dificultar a movimentação das comunidades específicas da formação fragmentada (perda de conectividade), como vai originando progressivamente o isolamento de muitas dessas manchas e a sua crescente incapacidade para garantir a existência de populações viáveis. Este último aspecto implica a necessidade de consideração de dois conceitos chave em termos de dinâmica ecológica das paisagens, o conceito de população mínima viável e o conceito de metapopulação.

O primeiro conceito tem a ver com o facto de que para uma dada população ser viável a longo prazo ter de possuir uma diversidade genética que previna todas as consequências negativas dos processos de “*inbreeding*”. Estes processos materializam-se na forma de progressiva degradação genética devido à insuficiente variedade do “pool” genético que conduz a um cruzamento sucessivo das mesmas “famílias” genéticas com perdas crescentes de viabilidade das novas gerações. Portanto, uma população só será viável se a sua diversidade genética for suficientemente elevada para impedir esses processos de cruzamento interno e de progressiva degradação.

É nesse quadro e no quadro das situações de fragmentação estrutural e induzida da paisagem que se desenvolveu o conceito de metapopulação. Por metapopulação, entende-se uma “população de populações” (LEVINS, 1969, 1970) na qual diferentes subpopulações (populações locais) ocupam diferentes manchas de habitat. Estas manchas de habitat ocorrem numa matriz desfavorável a essas populações, mas o movimento de organismos entre as diferentes manchas consegue ocorrer garantindo assim interações entre as diferentes subpopulações com as decorrentes trocas

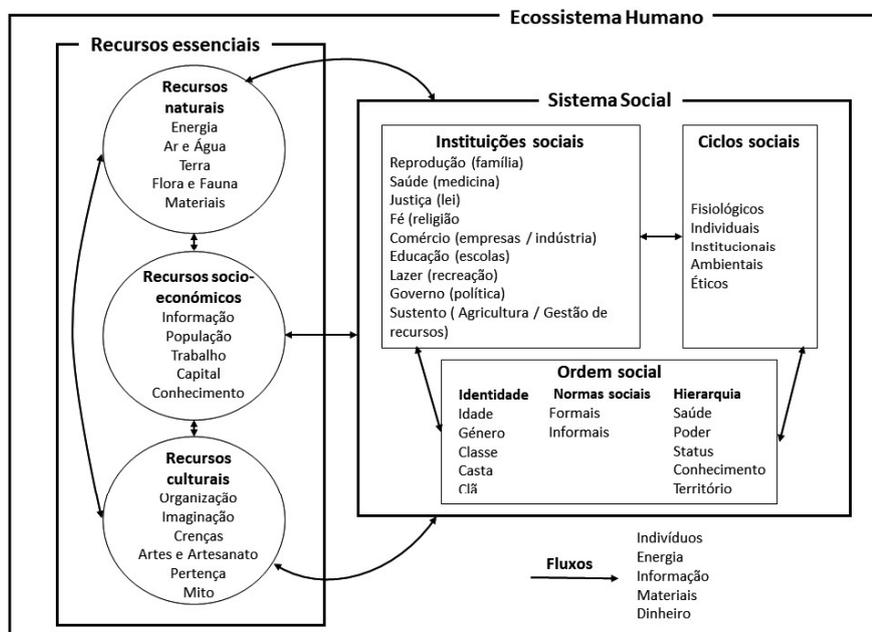
genéticas e assegurando, pelo somatório destas subpopulações articuladas ou interconectadas entre si uma meta-população geneticamente viável.

Esses conceitos são essenciais para compreender os processos ecológicos ocorrentes numa matriz no quadro de processos de perturbação resultante na sua fragmentação, processos esses que podem implicar o comprometimento da ocorrência de uma ou mais espécies apesar de continuar a existir habitats que lhes são favoráveis, mas que estão demasiado isolados e têm dimensões tão reduzidas que já não podem garantir a viabilidade da sua sobrevivência.

2.5.3.2 O antropossistema

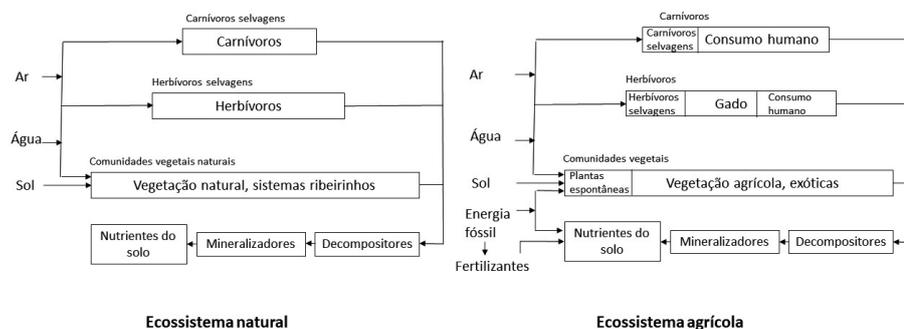
Os sistemas antrópicos, ou seja, os sistemas ecológicos em que a espécie dominante é o ser humano e o fator dinâmico predominante é a capacidade deste de gerir, orientar, transformar o essencial dos processos ecológicos, condicionando-os, simplificando-os, alterando as suas características e, fundamentalmente, incorporando-lhes novas lógicas, componentes, recursos e sistemas (Figura 16). No essencial os antropossistemas, na sua expressão ecológica, não se distinguem em termos sistêmicos, estruturais e funcionais dos restantes ecossistemas (Figura 17), exceto no facto de a incorporação de energia externa que não a da radiação solar e a exportação de materiais, assim como a composição de grande parte dos componentes funcionais sofrer modificações mais ou menos profundas (FRONTIER *et al.*, 2008) que, contudo, não anulam a sua natureza intrínseca de ecossistemas.

Figura 16 – Estrutura dos ecossistemas humanos



Fonte: adaptado de Machlis *et al.* (1997)

Figura 17 – Modificação de um ecossistema natural pela utilização humana



Fonte: elaborado pelo autor

Os antropossistemas são, assim, sistemas ecológicos geridos de acordo com o propósito de concretização de um conjunto de objetivos específicos que correspondem ao preenchimento das diferentes necessidades humanas, sejam elas de natureza fisiológica básica, sejam elas de natureza fisiopsicológicas ou éticas.

O que distingue os antropossistemas dos restantes ecossistemas é o facto de eles serem objeto de gestão, ou seja, da aplicação estruturada, mais ou menos consciente de políticas e a sua materialização em estratégias, planos, projetos e ações. A gestão implica três componentes fundamentais: conhecimento do objeto a gerir, conhecimento do objetivo a atingir e capacidade de avaliar a resposta do objeto às ações de gestão em termos da sua contribuição positiva ou negativa para os objetivos pré-definidos (FERNANDES; GUIOMAR, 2016).

O conhecimento do objeto a gerir (os sistemas naturais) é a vantagem adaptativa fundamental dos seres humanos quando comparados com os restantes seres vivos. Esta capacidade é o fator que permite, precisamente, os seres humanos de gerir, ou seja, de orientar e manipular os sistemas e fatores naturais no sentido de um objetivo, muitas vezes meramente conceptual, concebido com base na segunda vantagem adaptativa: a imaginação. A capacidade de avaliar operacionaliza estas duas capacidades específicas da espécie humana em dimensões e de modos impossíveis de serem atingidos por qualquer outro ser vivo.

É importante nunca esquecer que os seres humanos têm as mesmas necessidades dos restantes seres vivos, sendo determinados pelos mesmos processos, dinâmicas e padrões evolutivos. Os seres humanos garantiram a sua sobrevivência e sucesso na colonização do planeta em função, exclusivamente das suas capacidades próprias (compreender, imaginar e gerir), que lhes permitem realizar as suas necessidades com os recursos disponíveis e no quadro dos processos e sistemas ecológicos.

Essas capacidades não têm necessariamente uma expressão física (domínio em que os seres humanos não são particularmente capacitados a não ser recorrendo à energia de outros animais e atualmente e de forma exponencialmente mais significativa, a energia dos combustíveis fósseis e outras fontes artificiais) mas essencialmente uma expressão cognitiva. Essa expressão corresponde à nossa capacidade de conhecer e compreender o ambiente e os sistemas naturais e de intervir nele de modo a atingir os benefícios específicos da espécie humana e de cada indivíduo especificamente, em vez de meramente utilizar esse ambiente e sistemas como fazem os restantes seres vivos com exatamente os mesmos propósitos de satisfação das suas necessidades.

Nesse quadro, os antropossistemas constituem uma forma de manifestação específica dos sistemas e processos ecológicos, gerando paisagens

e sistemas paisagísticos próprios, diferenciados apenas pelo facto de decorerem de uma orientação consciente para a realização de objetivos concretos de uma espécie, enquanto no caso dos sistemas não intervencionados pelos seres humanos, os objetivos de cada espécie são apenas preenchidos na medida em que os recursos e sistemas existentes em cada paisagem o permitam. Em ambas as situações, as motivações da utilização (e gestão no caso dos seres humanos), são comuns: a satisfação das necessidades individuais, do grupo e, eventualmente, da espécie.

Contudo a enorme capacidade de transformação que as novas formas de energia disponíveis nos últimos 250 anos conferiram aos antropossistemas um caráter crescentemente modificado em relação aos processos ecossistêmicos naturais. Isso tende a originar perturbações que assumem crescentemente um caráter global e criando condições que podem comprometer a existência não só de um grande número de espécies (as taxas de extinção têm vindo a aumentar muito substancialmente), como a própria existência da espécie humana.

2.5.4 CONCLUSÃO

Os processos ecológicos são processos inerentes ao funcionamento dos sistemas planetários, assumindo formas diferenciadas conforme as características e as circunstâncias de cada local e de cada componente vivo ou inerte, originando em cada conjuntura temporal e espacial paisagens concretas e distintas. Ao longo deste capítulo foi realizado um sumário de processos ecológicos em: a) hidrossistemas e morfossistemas, b) ciclo biogeoquímicos e fluxos de energia, c) seres vivos e d) antropização e antropossistema.

REFERÊNCIAS

- BAILEY, R. G. *Ecoregions: the ecosystem geography of the oceans and continents*. New York: Springer, 2014.
- BLAB, J. *Grundlagen des Biotopschutz für Tiere*. Greven: KILDE Verlag, 1993.
- CARCEDO, F. J. A. *Riesgos geológicos*. Madrid: Instituto Geologico y Minero de Espanha, 1987.
- FERNANDES, J. P.; CRUZ, C. S. *Limpeza e gestão de linhas de água – pequeno guia prático*, v. 3., Lisboa: EPAL-Empresa Portuguesa das Águas Livres, 2011.

FERNANDES, J. P.; GUIOMAR, N. Environmental ethics: driving factors beneath behavior, discourse and decision-making. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, v. 29, p. 507-540, 2016.

FINKE, L. *Landschaftsökologie*. Braunschweig: Westermann Verlags GmbH Hoeller und Zwick, 1986.

FORMAN, R. T. T. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. *Landscape ecology*. New York: John Wiley & Sons, 1986.

FRONTIER, S.; PICHOD-VIALE, D.; LEPRÊTRE, A.; DAVOULT, D.; LUCZAK, C. *Ecosystèmes: structure, fonctionnement, évolution*. 4. ed. Paris: Dunod, 2008.

FU, B.; LIANG, D.; LU, N. Landscape ecology: coupling of pattern, process, and scale. *Chinese Geographical Science*, v. 21, p. 385-391, 2011.

HABER, W.; SCALLER, J. Ecosystem research Berchtesgaden. Spatial relations among landscape elements quantified by ecological balance methods, Chekoslovakia, *VIII International Symposium on Problems of Landscape Ecological Research*, 1988.

HANSEN-MOLLER, J. Recreation, reproduction and ecological restoration in the Greater Copenhagen region. In: COOK, E. A.; VAN LIER, H. N. (org.). *Landscape planning and ecological networks*, Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 225-248.

HOLDRIDGE, L. R. *Life zone ecology*. Costa Rica: Tropical Science Center San Jose, 1967.

KLEYER, M. Habitat Network schemes in Stuttgart. In: COOK, E. A.; VAN LIER, H. N. (org.). *Landscape planning and ecological networks*, Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 249-272.

LESER, H. *Landschaftsökologie: Ansatz, Modelle, Methodik, Anwendung*. Stuttgart: Ulmer Verlag, 1997.

LESER, H.; KLINK, H.-J. Handbuch und Kartieranleitung geoökologischer Karte 1:25000 (KA GÖK 25). Trier, *Forschungen zur deutschen Landeskunde*, BD 228, 1988.

LESER, H.; STAEBLEIN, G. Geomorphologische Kartierung, Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Karten 1:25000. Berlin, *Berliner Geographische Abhandlungen*, Sonderheft, 1975.

MACHLIS, G. E.; FORCE, J. E.; BURCH, W. R. The human ecosystem part I: the human ecosystem as an organizing concept in ecosystem management. *Society & Natural Resources*, v. 10, n. 4, p. 347-367, 1997.

MÜLLER, F. Ökosystemare Modellvorstellungen und Ökosystemmodelle in der Angewandten Landschaftsökologie. In: SCHNEIDER-SLIWA, R.; GEROLD, G.; SCHAUB, D. (org.). *Angewandte Landschaftsökologie*, Berlin-Heidelberg: Springer, 1999. p. 25-46.

PICKETT, S. T.; PARKER, V. T.; FIEDLER, P. L. The new paradigm in ecology: implications for conservation biology above the species level. In: FIEDLER, P. L.; JAIN, S. K. (org.). *Conservation biology*. New York: Springer, 1992. p. 65-88.

REMMERT, H. *Ökologie: ein Lehrbuch*. Berlin-Heidelberg: Springer, 2013.

RICHTER, H. Beitrag zum Modell des Geokomplexes. In: BARTHEL, H. (org.). *Landschaftsforschung, Beiträge zur Theorie und Anwendung*. Neef-Festschrift: Gotha, 1968. p. 39-48.

TURNER, M. G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 20, p. 171-197, 1989.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. New York: Springer, 2015.

TÜXEN, R. Die Grundlagen der Urlandschaftsforschung. *Nachr Niedersachsens Urgeschichte*, v. 5, p. 59-105, 1931.

VON HUMBOLDT, A. *Views of Nature or contemplations on the sublime phenomena of creation*. London: Cambridge University Press, 2011. 490 p.

WIENS, J. A.; CHR, N.; VAN HORNE, B.; IMS, R. A. Ecological mechanisms and landscape ecology. *Oikos*, v. 66, p. 369-380, 1993.