

NASCIMENTO, F. R.; SAMPAIO, J. L. Furtado. Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 6/7, n. 1, p. 167-179, 2004/2005.

NEVES, C. E et al. A importância dos geossistemas na pesquisa geográfica: Uma análise a partir da correlação com o ecossistema. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 271-285, mai/ago / 2014.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 3. Ed./ Fortaleza: Edições UFC, 2010.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental**: subsídios da geoecologia das paisagens e da teoria geossistêmica. 2. Ed. Reimpressão. – Fortaleza: Edições UFC, 2016.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **Teoria dos geossistemas** – o legado de V.B. Sochava: Vol. I Fundamentos Teórico-metodológicos. Fortaleza: Edições UFC, 2019.

RODRIGUEZ, M. M.; SILVA, E. V. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, ano 01, número, 2002.

SPOSITO, E. S. A propósito dos paradigmas de orientações teórico-metodológicas na Geografia contemporânea. **Terra Livre**, [S. /], v. 1, n. 16, p. 99–112, 2015. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/351>. Acesso em: 1 maio 2024.

TROPPEMAIR, H.; GALINA, M. H. Geossistemas. **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, ano 05, n. 10, 2006.

# INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL NAS PAISAGENS AGROECOSSISTÊMICAS

## *INDICADORES DE CALIDAD AMBIENTAL EM PAISAJES AGROECOSISTÉMICOS*

**Antonia Julliana Sarafim Bezerra**  
Universidade Federal do Ceará

**Marcivânia Mascarenhas de Oliveira**  
Instituto Flor do Piqui

**RESUMO:** As ações humanas que se intensificam sobre os recursos naturais vêm acumulando impactos e ultrapassando as capacidades de restauração natural dos sistemas. Os estudos sobre modelos biogeoquímicos e interações com as paisagens demonstram que os geoecossistemas são dinâmicos, cíclicos e evolutivos, que se autorregulam e seguem os ritmos das leis naturais do universo, como a Dinâmica das Populações, Ciclagem de Nutrientes, Homeostase e o Intemperismo. A degradação ambiental é a perda de características de manutenção natural do geossistema, altera a aptidão dos geoecossistemas comprometendo as funções e estruturas nos níveis de solo-planta-atmosfera. As paisagens são produtos da interação sistêmica. As paisagens agrícolas são uma resultante em função do manejo. Um Índice representa uma métrica de análise dos processos modificadores da dinâmica ambiental. Os parâmetros devem elencar aspectos como: Indicadores de saúde do solo, Indicadores fitossociológicos, Indicadores atmosféricos e Indicadores do manejo, e responder de que auxiliam no estudo do equilíbrio e qualidade dos agroecossistemas, para tanto é importante analisar de que forma o manejo do sistema solo, água e planta influencia na qualidade ambiental.

**Palavras-chave:** Equilíbrio dinâmico; Autorregulação; Manejo; Leis naturais.

**RESUMEN:** Las acciones humanas que se intensifican sobre los recursos naturales han ido acumulando impactos y superando las capacidades de restauración natural de los sistemas. Los estudios sobre modelos biogeoquímicos e interacciones con paisajes demuestran que los geoecossistemas son dinámicos, cíclicos y evolutivos, que se autorregulan y siguen los ritmos de las leyes naturales del universo, como la dinámica de poblaciones, el ciclo de nutrientes, la homeostasis y la meteorización. La degradación ambiental es la pérdida de las características naturales de mantenimiento del geosistema, alterando la idoneidad de los geoecossistemas, comprometiendo funciones y estructuras a nivel suelo-planta-atmósfera. Los paisajes son productos de interacción sistémica. Los paisajes agrícolas son el resultado de la gestión. Un Índice representa una métrica para analizar los procesos que modifican la dinámica ambiental. Los parámetros deben enumerar aspectos como: Indicadores de salud del suelo, Indicadores fitossociológicos, Indicadores atmosféricos e Indicadores de manejo, y responder si ayudan en el estudio del equilibrio y calidad de los agroecossistemas. Por lo tanto, es importante analizar cómo se maneja el sistema suelo, el agua y las plantas influyen en la calidad ambiental.

**Palabras clave:** Equilibrio dinámico; Autorregulación; Gestión; Leyes naturales.

## INTRODUÇÃO

Historicamente, a qualidade ambiental passou a ser cunhada para abordar os desafios da conservação e manutenção dos recursos naturais. As ações humanas que se intensificam sobre os recursos naturais vêm acumulando impactos e ultrapassando as capacidades de restauração natural dos sistemas, transformando o estado ou condição planetários de forma abrupta e irreversível.

Demonstrativos do crescimento populacional da humanidade apontam que a demanda por capital natural já exibe uma Pegada Ecológica 64% maior que a biocapacidade do Planeta Terra. O mês de Julho de 2021 apontou uma data em que o desmatamento e as queimadas atingiram 43% de aumento em relação ao ano 2020, recordes em mudanças no sistema terrestre. Segundo WWF-Brasil, alcançamos a sobrecarga da Terra (Earth Overshoot Day) três semanas mais cedo do que em 2020 e dois dias antes do dia global.

Com as retiradas das camadas de vegetação para implantação de culturas anuais, o Brasil perde cerca de 616,5 milhões de toneladas de terra ao ano, em decorrência da degradação dos solos por processos erosivos e manejos inadequados, além de causar perdas econômicas com a agricultura de modo geral, na ordem de US\$ 1,3 bilhão ao ano (SOUZA *et al.*, 2021).

Segundo o Relatório Anual de Desmatamento 2022 (MapBiomas, 2023), o desmatamento cresceu em todos os biomas brasileiros: 59% na Amazônia, 30,2% no Cerrado, 7% na Caatinga, 1,8% na Mata Atlântica, 1,7% no Pantanal e 0,1% no Pampa, devido ações da agropecuária, mineração, urbanização, instalações de usinas eólicas e solares, entre outras. Destacando-se a agropecuária (97% do total de desmatamento) como o principal vetor de pressão.

As práticas de manejo agrícola fundamentadas no desmatamento e queimadas podem inviabilizar a continuidade dos processos produtivos dependentes das interações biogeoquímicas, pois são causas principais de redução da biota e alteração de características primordiais dos habitats no geossistema. A biota é a substância viva que representa a reserva geral de matéria orgânica é a provedora essencial da inércia e/ou dinâmica dos fluxos ecossistêmicos (RODRIGUEZ; SILVA, 2019).

A atmosfera planetária apresenta reatividade química; sua composição mostra a manifestação da vida. Se o planeta não tivesse vida, a atmosfera estaria próxima do equilíbrio químico, ou seja, nenhuma energia proviria reagindo dos gases da atmosfera ... estaria em equilíbrio de um planeta morto. (LOVELOOK, 2010, p. 160).

Os estudos sobre modelos biogeoquímicos e interações com as paisagens foram demonstrando, ao longo do tempo, que compartilhamos de um ecossistema dinâmico e cíclico e evolutivo, que se autorregula e segue o ritmo das leis naturais do universo.

Teorias como a hipótese de Gaia, posta por James Lovelock na década de 1970, ao afirmar que o planeta evoluiu como se fosse um organismo vivo, onde os organismos produzem ou processam gases, e que a composição atmosférica é mantida num estado dinamicamente estável pela presença da vida (importância dos organismos na evolução do planeta).

Experimentos sobre Padrões de Autorregulação foram confirmados por Richard Zeebe e Ken Caldeira que publicaram resultados das medições de gases em testemunho de gelo antártico, revelando a autorregulação da Terra tanto pelo dióxido de carbono quanto pela temperatura por milhares de anos (ALBUQUERQUE; SOUZA, 2022; SILVEIRA, 2024).

Pelos aspectos de entendimento da dinâmica dos sistemas em ação, a Teoria e o experimento no gelo antártico, comungam da compreensão de que, no sistema Terra, o regulador seria o sistema inteiro (ar, oceanos, rochas e organismos) (ALBUQUERQUE; SOUZA, 2022; SILVEIRA, 2024).

Garth W. Paltridge ressaltou que ambientes planetários naturalmente selecionados para maximizar a produção de entropia do planeta, mantem um balancete disciplinado de energia, catalisada pelos organismos vivos, que impulsionam a evolução do sistema inteiro (ALBUQUERQUE; SOUZA, 2022; SILVEIRA, 2024).

A Teoria de um sistema vivo é holística, um sistema teórico completo, e não pode ser modelada utilizando os conceitos das ciências da Terra ou da vida separadamente. Uma ciência do sistema holístico não admite classes reducionistas (LOVELOK, 2010).

Odum (1988), conceituou mecanismos de sistemas autorregulados e homeostase. Mais tarde, Bertrand (1990), Rodriguez e Sousa (2019) aperfeiçoaram debates sobre teorias de sistemas (geossistemas), e inúmeros estudos que construíram cotidianamente o contexto sobre a qualidade ambiental das paisagens.

Esses estudos também ressaltam a importância da presença humana na Terra. Como frutos de interações entre humanos e natureza, constantemente geram-se perturbações aos sistemas e interferem nos mecanismos naturais do ambiente que dão suporte a vida na planta (RIBEIRO, 2015; SOUZA *et al.*, 2021).

Assim, considerando fluxo contínuo e dependente das interações, a qualidade dos “sistemas de suporte à vida” são essenciais para sobrevivência dos organismos; eles interagem de forma complexa e são sensivelmente afetados pelas atividades humanas (CARDOSO; ANDREOTE, 2016; SILVEIRA, 2024).

Desse modo, o objetivo desse artigo, é contextualizar sobre qualidade ambiental nas paisagens modificadas pela agricultura e as principais métricas aplicadas à estudos integrados de solo, planta e atmosfera.

## **FUNDAMENTOS CONCEITUAIS**

A etimologia da palavra “conceito”, no latim “*conceptus*”, significa ato de conter ou pensamento. Pela lógica aristotélica, um conceito representa a forma abstrata (mais básica) de representar um pensamento a respeito de um objeto; um conceito é então, uma criação singular (Deleuze), uma maneira de conceber uma ideia em função de um “objeto” ou “coisa”.

O valor de um conceito ou teoria *é julgado pela exatidão de suas previsões e sua capacidade de resistir ao falseamento* (LOVELOK, 2010).

O conceito (ou conceitos) de qualidade ambiental, abordam paradigmas que variam conforme a aplicação da ciência (social, ambiental, econômico, etc.), traduzindo as ideias e entendimentos sobre “qual é o aspecto de qualidade e de que forma expressa” (SOUZA *et al.*, 2021).

Atualmente, o conceito de qualidade ambiental atenta-se principalmente ao “consumo antrópico do planeta”, fazendo uma abordagem característica da influência humana sobre os padrões de qualidade observados nas paisagens (SOUZA *et al.*, 2021).

## **QUALIDADE AMBIENTAL**

O “ambiente” consiste de um conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos que rodeia os seres vivos (ODUM, 1988). Esses fatores ou recursos naturais bióticos e abióticos interagem e determinam os aspectos de qualidade do meio.

A qualidade dos ambientes representa os padrões que variam em escalas de tempo e espaço, e não são necessariamente numéricas. Os padrões são frutos das interações bióticas e fluxos biogeoquímicos que ocorrem nos ambientes (SOUZA *et al.*, 2021).

Dentro de uma escala e tempo (ou um espaço operacional seguro para a vida em evolução), a qualidade ambiental analisa as interações essenciais para a manutenção das estruturas e funções dos sistemas e como eles dinamizam sua estabilidade, seja planetária ou local (RODRIGUEZ; SOUSA, 2019).

Nesses termos, a qualidade ambiental é o “*grau de correspondência das condições naturais da paisagem geoeossistêmica às exigências dos organismos vivos ou da população*” (RODRIGUEZ; SOUSA, 2019). Por sua vez, os padrões de qualidade apresentam “*parâmetros e características, generalizadas ou locais*” (EEA, 2020) que influenciam sobre a qualidade de vida presente e futura dos seres humanos e outros organismos.

A qualidade ambiental é assim, uma medida de parâmetros que representam um estado momentâneo e dinâmico, variando no tempo e no espaço conforme as modificações no uso e ocupação projetados sobre uma paisagem ou ecossistema.

Na natureza, as Leis Naturais como a *Dinâmica das Populações, Cadeias Tróficas, Ciclagem de Nutrientes, Homeostase e o Intemperismo*, regem o estado de qualidade do ecossistema. As Leis Naturais atuam em tempo e espaço, obedecendo ao tempo das estações anuais ou ciclos planetários (ODUM, 1988; SOUZA *et al.*, 2021).

As paisagens modificadas, são paisagens ou espaços físicos projetados pela ação humana. As modificações geram barreiras físicas, químicas e biológicas, e alteram o tempo e espaço de interação entre os seres vivos e o ambiente. Nas paisagens modificadas, as Leis Naturais continuarão a atuar guiando os movimentos universais para “manter o equilíbrio natural e dinâmico nos ecossistemas”.

Ao contrário dos sistemas naturais autorregulatórios, as paisagens modificadas são suplementadas pelas intervenções humanas, observando os fatores limitantes para a produção e qualidade dos recursos naturais disponíveis. As limitações de um ambiente estão associadas a sua capacidade de suporte ou a capacidade de produção e manutenção estáveis, acima do qual não se verifique determinada quantidade de recursos bióticos e abióticos disponíveis (HAMMES, 2012a).

Ao exceder essa capacidade de suporte do ambiente, as atividades humanas podem acarretar em impactos negativos à qualidade de um sistema. Segundo Hammes (2012a) a condição ideal seria 50% da condição máxima (capacidade ótima de suporte), “*situação na qual haveria tempo suficiente para tomadas de decisões, evitando os riscos na produção e a exaustão dos recursos*”.

## **AS LEIS NATURAIS**

As Leis Naturais existem e atuam em suas diversas formas para manter o planeta em ordem, e não obrigam que acreditemos nela. Para as ciências, as leis naturais são universais, elas regem todos os movimentos e são estudadas pelas ciências da terra (como a física, química, biologia, geografia, matemática) pela filosofia, pela teologia, pelo misticismo, dentre outras. Por exemplo, a lei da gravidade, as leis de Newton, lei de conservação da energia, lei da matéria, as leis dos gases, as leis planetárias de Kepler, etc., apresentando características interdisciplinares (ODUM, 1988).

Para direcionar o entendimento sobre a qualidade ambiental, consultamos leis e princípios com base nas Ciências da Terra para exemplificar os principais aspectos das interações entre solo-planta-atmosfera que modificam a qualidade de um ecossistema.

A Teoria Terra associa as relações dos seres vivos (principalmente o homem) e a natureza como partes indivisíveis; considera a Terra um sistema vivo, com fisiologia dinâmica e complexa, que evolui há mais de três bilhões de anos (BERTRAND, 2002).

Os sistemas vivos são caracterizados pela intensificação das relações entre organismos vivos e as paisagens. Ao interagir, os organismos e o meio movimentam matéria e energia, influenciando a ocorrência da vida local (CAPRA *et al.*, 2009). Os sistemas vivos impulsionam os ciclos e fluxos naturais e os mecanismos de autorregulação e retroalimentação pelos quais sustentam suas próprias funções de equilíbrio (ODUM, 1988).

Assim, a vida ocorre em ecossistemas cíclicos, com relações de interdependência geocológica e coevolutiva (ODUM, 1988; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

## EQUILÍBRIO DINÂMICO E AUTORREGULAÇÃO

Nos sistemas vivos os organismos estão constantemente em movimento, são dinâmicos. Eles utilizam os mecanismos internos de autorregulação para adaptar-se às mudanças e dessa forma manter o equilíbrio. Em respostas a uma perturbação, os sistemas vivos promovem uma reorganização. Em suma, *o equilíbrio dinâmico é a capacidade que os sistemas vivos possuem para recuperar-se* (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

A Terra, um geossistema, um todo indivisível, possui a capacidade essencial de manter-se em equilíbrio, para tal, as leis naturais são imutáveis, e define esse fenômeno como sendo a *Homeostase* (ODUM, 1997; CAPRA *et al.*, 2009; RODRIGUEZ; SILVA, 2019).

Em ambientes evolutivos, adaptados através dos ciclos de retroalimentação, pequenas perturbações estimulam os organismos à mudança. Necessariamente “a única constante que temos é a mudança” (Heráclito, 500 a.C.), que sustenta vida orgânica ativa.

... biologicamente, a manutenção da vida é operar no desequilíbrio... alcançar o equilíbrio significa a morte e decaimento... um organismo vivo torna-se um corpo em decomposição quando as forças e tensões que o forçam fora do equilíbrio cessarem (LUDWIG VON BERTALANFFY *apud* MANG E HAGGARD, 2016).

Os geossistemas podem evoluir ou degradar-se diante das perturbações. Nos processos de adaptação e evolução os geossistemas funcionam de acordo com o potencial ou capacidades de resposta. Por sua vez, os processos contínuos e/ou abruptos de perturbação que degradam a capacidade natural e regenerativa do sistema vivo, causam a *degradação ambiental*, que é a perda de características de manutenção natural do geossistema (RODRIGREZ; SILVA, 2019; SOUZA *et al.*, 2021; HAMMES, 2012b).

A degradação ambiental altera a aptidão dos geossistemas comprometendo as funções e estruturas nos níveis de solo-planta-atmosfera. Por exemplo, fragmenta processos na ecologia das populações e na ciclagem de nutrientes, causa alteração de atributos do solo e, conseqüentemente, afetam o equilíbrio dinâmico e qualidade dos parâmetros físicos, químicos e biológicos das paisagens (SOUZA *et al.*, 2021).



## AS PAISAGENS E OS SISTEMAS SOLO-PLANTA-ATMOSFERA

Um ecossistema é uma unidade funcional básica de ocorrência natural na paisagem, constituído pela comunidade biótica e pelo ambiente abiótico.

Baseado em Bertrand, segundo diretrizes da abordagem geossistêmica, as mudanças conceituais de paisagem avançaram na representação espaço-temporal que permite “*analisar a estrutura e o funcionamento biofísico de um espaço geográfico como ele atualmente funciona, ou seja, o seu grau de antropização*” (FERREIRA; NEVES, 2023).

Considerando um estudo multiescalar, multifuncional, de orientação ambientalista, a paisagem é um espelho de “*construções culturais e econômicas*”, com organização espacial e funcionamento complexo, entre elementos diferentes “*como o meio biofísico e o social, econômico e cultural, que combinados em um território dão origem a uma paisagem*” (BERTRAND, 2002; FERREIRA; NEVES, 2023).

Assim, as paisagens são produtos da interação sistêmica (LOVELOCK, 2010). Essas interações articulam-se entre fatores dos sistemas *solo-planta-atmosfera* (ODUM, 1988).

Considerando que as paisagens estão sendo modificadas pelas ações humanas, as paisagens agrícolas são um produto da aplicação de práticas de manejo dos elementos das paisagens que irão afetar aspectos como a produtividade no nível do solo, a biodiversidade e os padrões biogeoquímicos (RODRIGUEZ; SILVA, 2019).

Assim, nas paisagens agrícolas ou agroecossistemas, o funcionamento dos sistemas solo-planta-atmosfera serão uma resultante em função do manejo adotado (FELICES; HERNÁNDEZ, 2020).

O manejo é o uso dos recursos naturais das paisagens para praticar agricultura. É uma escolha “*etno-agrícola*”, governada pelos objetivos e percepções do praticante. O manejo seleciona solos, plantas e animais de forma não aleatória. Os métodos de manejo são principalmente: químicos (por práticas convencionais), orgânicos (por substituição de insumos) e agroecológicos (por interação da sociobiodiversidade) (PRIMAVERSI, 2006; SOUZA *et al.*, 2021).

## **O SOLO**

O solo *é* uma parte superior da litosfera que suporte da vida animal e vegetal e está em contínua transformação pela ação conjunta da hidrosfera, atmosfera e biosfera. (HAMMES, 2012a; SOUZA *et al.*, 2021); e sua qualidade é representada pela “capacidade de funcionar” (SOUZA *et al.*, 2021).

As interações dinâmicas entre as rochas, a água da chuva, o ar e os microrganismos compõem o ciclo de formação do solo, dando origem aos atributos naturais e classificatórios de um solo (HAMMES, 2012a).

A fertilidade e organização são os principais fatores que diferenciam os solos. As práticas de manejo interferem na fertilidade e organização natural do sistema (HAMMES, 2012abc; SOUZA *et al.*, 2021).

A fertilidade é a capacidade de produção influenciada pela disponibilidade de elementos químicos e pela estrutura física; e a organização é definida como a maneira pela qual estão agrupados os constituintes de um solo. Assim, os diferentes solos reagem de forma diferenciada aos manejos que são submetidos (HAMMES, 2012a; SOUZA *et al.*, 2021).

O uso e ocupação dos solos estimulam o comportamento dos fatores físicos (estrutura, textura e porosidade), químicos (pH, matéria orgânica e metais), mineralógicos e hidráulicos. Biologicamente, os organismos são representados pelas micro, meso e macrofaunas que participam do processo de ciclagem de nutrientes (HAMMES, 2012ab; SOUZA *et al.*, 2021).

## **A VEGETAÇÃO**

Nos sistemas agrícolas, o manejo da vegetação está associado a supressão e a substituição de organismos vegetais para implantação de culturas de importância agrícola.

A cobertura vegetal atua na contenção de processos erosivos do solo, no controle hidrológico, na criação de condições para manutenção de organismos (bióticos) que atuam na ciclagem de nutrientes. As perturbações ambientais afetam as populações de organismos de formas diferentes (JUNIOR; SILVA, 2023).

A biota é a substância viva que representa a reserva geral de matéria orgânica é a provedora essencial da inércia e/ou dinâmica dos fluxos ecossistêmicos (RODRIGUEZ; SILVA, 2019), dessa forma, “*contrariando Darwin, os organismos não evoluem independente de seu ambiente, de fato, os organismos fazem parte de um*

*todo maior que inclui o ambiente físico e químico que eles e outros organismos alteram* (LOVELOK, 2020), e praticam a coevolução (CARDOSO; ANDREOTE, 2016; JUNIOR; SILVA, 2023).

A biomassa é todo material orgânico acumulado (nas folhas, caule, grãos, resíduos) em qualquer organismo; é um recurso energético renovável de origem animal ou vegetal que pode ser utilizado para produção de energia. Nos vegetais, a biomassa é gerada pela fotossíntese que converte energia solar em energia química (HAMMES, 2012a).

Os sistemas naturais de vegetação são formados pela vegetação nativa, de ocorrência natural e manutenção dependente das leis naturais dos sistemas (ODUM, 1988).

Os sistemas simplificados são geralmente ocasionados pela supressão de organismos vegetais para implantação de culturas (com organismos de mesma espécie ou monocultivos) e são estimulados pelas práticas de manejo agrícola (SOUZA *et al.*, 2021).

Os estudos fitossociológicos realizam o levantamento de dados da comunidade vegetal de um ambiente. Nessas análises utilizam-se métodos de parcelamento da vegetação visando à obtenção de maior heterogeneidade florística (reduzindo erros restritos a uma mancha vegetal) e podem demonstrar padrões como abundância de espécies e distribuição de populações (UPHOFF, 2006; LONGO *et al.*, 2023).

## **CICLAGEM DE NUTRIENTES**

Os ciclos biogeoquímicos são processos naturais essenciais aos geocossistemas; reciclam nutrientes no ambiente, incluindo o transporte e a transformação de elementos como nitrogênio, carbono e fósforo através de componentes bióticos e abióticos da Terra (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

O intemperismo bioquímico é um mecanismo pelo qual a Terra autorregula a abundância dos gases (como dióxido de carbono) e a temperatura (LOVELOK, 2010; SILVEIRA, 2024).

Entre solo, planta e atmosfera, a rizosfera (interface raízes, solo e microrganismos), é um ambiente propício para interações, transformações bioquímicas e ciclagem de nutrientes (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Os mecanismos diretos ou indiretos pelos quais microrganismos do solo influenciam as transformações e a ciclagem dos nutrientes são: mobilização, imobilização, produção de metabólitos, produção de enzimas,

alteração de pH, oxi-redução, alteração de solubilidade, redução bioquímica, produção de toxinas e simbioses radiculares (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

No ciclo do Carbono, o manejo afeta diretamente a capacidade de sequestro do elemento. Os valores de carbono nos diversos compartimentos e fluxos na biosfera são muito variáveis. No ciclo do Nitrogênio, as práticas agrícolas modificam a disponibilidade do nitrogênio para os organismos vivos, interferem na diversidade e ocorrência dos organismos fixadores de nitrogênio, na associação de fixadores de N<sub>2</sub> com espécies vegetais, na simbiose, etc. No ciclo do Fósforo, as frações e transformações do elemento no solo, a mineralização e imobilização biológica, a solubilização de fosfatos, a acessibilidade e absorção pelas plantas, estão entre os principais fatores influenciados pelo manejo agrícola do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

## **A ATMOSFERA**

O clima integra diversos ciclos da natureza e torna-se um fator determinante para flora, fauna e solos. Os balanços atmosférico e de energia movimentam a terra através de energia primária, *“ a radiação solar é a energia primária de todas as coisas na Terra, afetam o aquecimento das águas, movimentam as massas, a fotossíntese e mantém o planeta aquecido”* (HAMMES, 2012a).

A atmosfera é composta por gases que variam em concentrações conforme a posição do globo e também possui teores variáveis de partículas sólidas em suspensão (aerossóis). Componentes como nitrogênio (N<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>), gás carbônico (CO<sub>2</sub>), vapor de água e os aerossóis formam uma massa fluida com a função de equilibrar o ciclo energético da Terra (HAMMES, 2012a).

A circulação geral da atmosfera inicia-se com a energia radiante do Sol (radiação solar), interagindo em reações fotoquímicas e circulando pelo globo. Tanto as substâncias naturais quanto as substâncias geradas pelas atividades humanas entram na circulação atmosférica. A radiação solar influencia nas mudanças de temperatura e pressão que movimentam as massas de ar; a luz solar é a energia primária para fotossíntese que estimulam a cadeia alimentar e o fototropismo; movimento das massas de ar originam os ventos que influenciam na dispersão de sementes, partículas em suspensão e microrganismos; afetam a evapotranspiração (perda de água do solo, plantas) e animais (HAMMES, 2012a).

O ciclo de vida dos animais e vegetais é influenciado pela sazonalidade dos ciclos anuais da Terra. As estações do ano resultam da inclinação do eixo de rotação da terra (23° 27') em relação ao plano de translação ao redor do sol. Nos Trópicos, as duas estações predominantes normalmente estão associadas a um período seco (sem precipitação) e um período úmido (com precipitação), que não são bem definidas. A precipitação pluviométrica ou chuva é a condensação do vapor de água (HAMMES, 2012a).

## **INDICADORES PARAMÉTRICOS**

Devido a multifuncionalidade dos geocossistemas é possível associar aspectos biofísicos para analisar suas potencialidades e limitações em função das suas interações. Essas análises podem variar entre arranjos espaço-temporal e entre diferentes tipos de manejo (OLIVEIRA, 2011).

Nas paisagens agrícolas, indicadores paramétricos que associem características do sistema solo-planta-atmosfera, podem demonstrar a qualidade ambiental do geocossistema analisado. Assim, as práticas de manejo influenciam na dinâmica e qualidade dos geocossistemas quando interagem com o ambiente natural. A partir dessa hipótese, a atribuição de métricas para construção de um índice de qualidade ambiental envolve os seguintes aspectos:

## **CONSTRUÇÃO DE INDICADORES**

Um indicador é uma variável que resume ou simplifica uma informação relevante de um fenômeno, tornando-o perceptível, quantificando-o e explicando-o de forma compreensível. Deve ser preferencialmente uma variável quantitativa podendo ser qualitativa quando não houver disponibilidade de dados quantitativos (CANTÚ *et al.*, 2007).

As principais funções de um índice são: avaliar condições ou tendências, comparar regiões ou situações; fomentar informações preventivas e antecipar condições e tendências futuras (CANTÚ *et al.*, 2007).

Nos estudos ambientais das paisagens agrícolas, os indicadores representam uma métrica de análise dos processos e respostas modificadores da dinâmica ambiental. As variáveis (qualitativas e quantitativas)

medem a intensidade das ações sobre a estrutura e função dos sistemas solo-planta-atmosfera. Assim, os parâmetros analisados devem elencar:

(a) Indicadores de saúde do solo: físicos, químicos e biológicos (como erosão, resistência a penetração, densidade, fertilidade, fauna).

(b) Indicadores fitossociológicos: diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ), abundância e riqueza das espécies.

(c) Indicadores atmosféricos: precipitação e temperatura.

(d) Indicadores do manejo: químico, orgânico e agroecológico, nativo.

Considerando que o ambiente nativo expressa a qualidade natural do sistema sem a interferência humana, parametricamente, os indicadores da paisagem nativa expressam a condição de qualidade ambiental dinâmica segundo as leis naturais dos sistemas. Nesse sentido, na análise comparativa de resultados, os indicadores do sistema nativo representam um referencial paramétrico com efeito de testemunho da condição das paisagens modificadas.

## **CONSTRUÇÃO DE UM ÍNDICE**

Um Índice expressa uma realidade momentânea acerca de um nível de qualidade conceitualmente estabelecido (SOUSA *et al.*, 2005). Um índice de qualidade ambiental irá expressar o nível de influência que o manejo pode exercer sobre a paisagem agrícola, em função dos impactos efetivamente realizados (TURNER *et al.*, 2003).

Na síntese de um índice, os indicadores são transformados numericamente para representar os parâmetros analisados: os parâmetros recebem um valor numérico que representa o grau de influência sobre o critério analisado. Dessa forma, os parâmetros analisados dão origem aos indicadores e a análise dos indicadores formam um índice.

Na métrica, atribui-se uma escala variando de 0 (zero) a 1 (um). Os parâmetros que representaram maior influência (efeito negativo) receberam o valor 0 (zero), e variaram até a situação de menor influência,

recebendo o valor máximo previsto para o indicador. Os valores medianos podem representar as influências medianas ou neutro, com possibilidade de atingir uma influência positiva, dependendo da situação analisada.

Posteriormente, os valores transformados são padronizados conforme a equação (1). Após a padronização dos indicadores, os índices são expressos conforme a equação (2). A contribuição de cada indicador para formação do índice é obtida utilizando-se a equação (3), dispostos no quadro a seguir (CANTÚ *et al.*, 2007) (Quadro 1):

**Quadro 1:** Equações para cálculo de indicadores e índices.

<p>(1)</p> $I_{pji} = \frac{I_{ji} - I_{jr}}{I_{jm} - I_{jr}}$	<p>(2)</p> $IER = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[ \frac{\sum_{i=1}^m E_{ij} \cdot P_{ij}}{\sum_{j=1}^m E_{\max i} \cdot P_{\max i}} \right]$	<p>(3)</p> $C_i = \frac{\sum_{i=1}^m E_{ij} \cdot P_{ij} \cdot 100}{n \left( \sum_{i=j}^n E_{\max i} \cdot P_{\max i} \right)}$
<p><math>I_{pji}</math> = Valor padronizado do indicador <math>j</math> no <math>i</math>-ésimo fator;</p> <p><math>I_{ji}</math> = Valor do indicador <math>j</math> no <math>i</math>-ésimo fator;</p> <p><math>I_{jr}</math> = Valor do indicador <math>j</math> no fator em pior situação;</p> <p><math>I_{jm}</math> = Valor do indicador <math>j</math> no fator em melhor situação.</p>	<p><math>E_{ij}</math> = Escore do <math>i</math>-ésimo indicador alcançado pelo <math>j</math>-ésimo fator;</p> <p><math>P_{ij}</math> = Peso do <math>i</math>-ésimo indicador alcançado pelo <math>j</math>-ésimo fator;</p> <p><math>i = 1, \dots, m</math>; <math>j = 1, \dots, n</math>;</p> <p><math>P_{\max i}</math> = Peso máximo do <math>i</math>-ésimo indicador;</p> <p><math>E_{\max i}</math> = Escore máximo do <math>i</math>-ésimo indicador;</p> <p><math>C_i</math> = Contribuição do indicador (<math>i</math>) nos índices;</p> <p><math>n</math> = Número de produtores;</p> <p><math>m</math> = Número de indicadores.</p>	

Fonte: CANTÚ *et al.*, (2007).

As influências estabelecidas para um índice, podem adaptar-se conforme os impactos na qualidade das paisagens. Numericamente, podem enquadrar-se na seguinte escala (Tabela 1):

**Tabela 1:** Métrica de influência da qualidade ambiental de um índice.

Influência	Escala
Muito-Alto	0,81 – 1,00
Alto	0,61 – 0,80
Moderado	0,41 – 0,60
Baixo	0,21 – 0,40
Muito-Baixo	0,00 – 0,20

Fonte: CANTÚ *et al.*, (2007).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos de qualidade ambiental devem verificar a escala (espaço-tempo) e suas capacidades (suporte de pressão) da demanda ambiental, de forma que sejam medidas a capacidade de carga do geossistema local em escala de tempo-espaço). Para que não ultrapassem a capacidade de carga dos geoeossistemas.

Por sua vez, os geoeossistemas apresentam características naturais e dinâmicas autorreguladas por mecanismos internos que tendem a manter-se em estado natural de equilíbrio, expressada pelo estado de conservação ativo e adaptativo dos sistemas gerais da biosfera.

As atividades agropecuárias usufruem com intensidade dos componentes bióticos e abióticos do geoeossistema para promover o cultivo de culturas e animais, onde o manejo expressa o componente antrópico.

Nossas práticas originam efeitos diretos e indiretos sobre as fronteiras planetárias como perda da integridade da biosfera (produtividade biótica, perda de biodiversidade e extinção de espécies), fluxos biogeoquímicos (ciclos do fósforo e do nitrogênio) e mudanças no sistema terrestre (desmatamento), os quais transformam a qualidade ambiental das áreas numa resultante modificada pelo funcionamento do manejo.



Os resultados ambientais sobre a biosfera podem ser mensurados pela desagregação, transporte e deposição de horizontes do solo, carreamento de nutrientes e material orgânico, assoreamento e poluição de corpos d'água, desequilíbrio de fauna e flora, redução de produtividade e desertificação.

Assim, é importante analisar de que forma o manejo agroecológico do sistema solo, água e planta influenciam na qualidade ambiental do geossistema, e entender como as estratégias de manejo agropecuário em suas interações com o ambiente natural causam interferências no equilíbrio e qualidade dos agroecossistemas.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao PRODEMA por oportunizar a realização de pesquisas integradas.

## **REFERÊNCIAS**

ALBUQUERQUE, U. P.; SOUZA, T. G. **Introdução ao Antropoceno**. 1 ed. Recife, Pernambuco, 2022. 106p.

BERTRAND, C.; BERTRAND, G. **Une géographie traversière: l'environnement à travers territoires et temporalités**. Paris: Éditions Arguments; 2002.

CANTÚ, M. P.; BECKER, A.; BEDANO, J. C.; SCHIAVO, H. F. **Evaluación de localidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices**. Ci. Suelo, Argentina. 173-178, 2007.

CAPRA, F. et al. **Ecoalfabetização: preparando o terreno**. Learning in the Real World, 2009.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221 p.

FERREIRA, M. O; NEVES, C. E. **Abordagem geossistêmica de Georges Bertrand: perspectiva sobre o pensamento geográfico**. Revista Formação (Online), v. 30, n. 57, p. 7-30, 2023.

FELICES, K. B.; HERNÁNDEZ, J. S. **Contribución del enfoque de la agroecología en el funcionamiento y estructura de los agroecosistemas integrados**. Pastos y Forrajes, v. 43, n. 2, 102-111, 2020.

JUNIOR, E. C. P.; SILVA, N. C. **Coleóptera (Insecta) Bioindicadora da Qualidade Ambiental em um Fragmento Florestal no Município de Abaetetuba-PA**. Revista Internacional de Ciências, Rio de Janeiro, v. 13, n. 02, 2023. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/ojs/index.php/ric>

LOVELOK, James. **Gaia: alerta final**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2010. 264p.

HAMMES, V. S. **Ver: percepção do diagnóstico ambiental**. Educação Ambiental para o Desenvolvimento Sustentável, v. 3. 3º ed., rev. e ampl. Brasília, DF. EMBRAPA, 2012. 298p.

HAMMES, V. S. **Julgar: percepção do impacto ambiental**. Educação Ambiental para o Desenvolvimento Sustentável, v. 4. 3º ed., rev. e ampl. Brasília, DF. EMBRAPA, 2012. 286p.

- HAMMES, V. S. **Agir: percepção da gestão ambiental**. Educação Ambiental para o Desenvolvimento Sustentável, v. 5. 3<sup>o</sup> ed., rev. e ampl. Brasília, DF. EMBRAPA, 2012. 346p.
- LONGO, M. R.; SILVA, A. L.; CARVALHO, M. M.; RIBEIRO, A. I. **Métricas da paisagem e qualidade ambiental nos remanescentes florestais do Ribeirão Quilombo em Campinas/SP**. Ver. Ciência Florestal, Santa Maria. v. 34. 2023.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2 ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.
- RAD, **Relatório Anual de Desmatamento 2022**. São Paulo, Brasil. MapBiomas, 2023. 125p. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara. 1988. 434p.
- ODUM, E. P. **Fundamentos de ecologia**. Fundação Calouste Gulbenkian. 6<sup>o</sup> ed. 2004. 823p.
- OLIVEIRA, E. M.; SOUTO, J. S. **Mesofauna edáfica como indicadora de áreas degradadas**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. Pombal, PB. 2011.
- PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo. 18<sup>o</sup> ed. São Paulo: Nobel, 2006.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **Teoria dos Geossistemas. O legado de V. B. Sochava**. Fundamentos teóricos-metodológicos. v. 1. Fortaleza: Edições UFC, 2019.
- RIBEIRO, B. M. G.; MENDES, C. A. B. **Índice de Qualidade Ambiental Urbano: uma proposta metodológica aplicada a áreas urbanas de ocupação irregular**. INPE. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa, Paraíba, 2015.
- SILVEIRA, K. A. **Interações Microbiológicas à luz da Teoria Gaia: Simbiogênese na Microbiologia Ambiental**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 12, n. 1. 2024.
- SOUZA, H. A. L.; LEITE, F. C.; MEDEIROS, J. C. **Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste**. Brasília, DF. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 2021. 595p.
- UPHOFF, N. **Biological approaches to sustainable soil systems**. Flórida: CRC Taylor & Francis, 2006.
- TURNER, B. L. et al. **A framework for vulnerability analysis in sustainability science**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003.