

**ENFOQUE ESTRUTURAL E FUNCIONAL DA GEOECOLOGIA DAS PAISAGENS:
MODELOS E APLICAÇÕES EM AMBIENTES TROPICAIS¹**

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL APPROACH TO LANDSCAPE GEOECOLOGY:
MODELS AND APPLICATIONS IN TROPICAL ENVIRONMENTS

ENFOQUE ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LA GEOECOLOGÍA DE LOS
PAISAJES: MODELOS Y APLICACIONES EN AMBIENTES TROPICALES

Maria Rita Vidal²

Edson Vicente da Silva³

Resumo: Objetiva-se analisar a estrutura e funcionamento das paisagens por meio da geoeologia, com aplicações práticas em diferentes paisagens no Brasil (ambientes tropicais). Definem-se conceitos sobre organização estruturo-funcional e também há discussão quanto à aplicabilidade dos mesmos, sob a perspectiva da Geoeologia da Paisagens. Como resultados é apresentado o método de quantificação da estrutura da paisagem para análise de padrões espaciais e suas diferenciações, alongadas, curvilíneas e geométricas, indicando sua composição em um mosaico de diferentes formas, bem como apresenta-se um modelo teórico de funcionamento que permite esclarecer os mecanismos que regem o funcionamento das paisagens definindo as funções geoeológicas: força, entrada, armazenamento, produção, regulação e interação, contribuindo assim, para um maior conhecimento científico sobre os processos de constituição das paisagens em ambientes tropicais.

Palavras-chave: Geoeologia; Estrutura da Paisagem; Funcionamento Sistêmico.

Abstract: The study aimed to analyze the structure and function of landscapes through geoeology, including practical applications in different landscapes in Brazil (tropical environments). Concepts about structural-functional organization are defined and it is also highlighted their applicability according to the perspective of Landscape Geoeology. As results, it is presented the method of quantification of the landscape structure for analysis of spatial patterns and their differentiated, elongated, curvilinear and geometric patterns, revealing its composition in a mosaic of different forms, as well as being presented a theoretical model of functioning in order to clarify the mechanisms which design the landscapes functions by defining the geoeological functions: force, input, storage, production, regulation and

¹ Este artigo se constitui a partir da parceria entre a Revista Geofronter e Laboratório de Geoeologia da FAENG da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e destaca como resultado as discussões realizadas no I Ciclo de Estudos Sobre Geoeologia de Campo Grande/MS.

² Doutora em Geografia. Professora da Faculdade de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa). Marabá/PA. Professora do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPA. E-mail: ritavidal@unifesspa.edu.br Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/5598361253569887> Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-3392-3624>

³Doutor em Geografia. Professor da Faculdade de Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza/CE. E-mail: cacaueara@gmail.com Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/3354228537186786> Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-5688-750X>

interaction, thus contributing to a relevant scientific knowledge about the processes of constitution of landscapes in tropical environments.

Keywords: geocology, landscape structure, systemic functioning.

Resumen: El objetivo es analizar la estructura y funcionamiento de los paisajes por medio de la geoecología, con aplicaciones prácticas en diferentes paisajes en Brasil (ambientes tropicales). Se definen conceptos sobre organización estructurofuncional y también se discute sobre la aplicabilidad de los mismos, bajo la perspectiva de la Geoecología de los Paisajes. Como resultado se presenta el método de cuantificación de la estructura del paisaje para análisis de patrones espaciales y sus diferenciaciones, alargadas, curvilíneas y geométricas, indicando su composición en un mosaico de diferentes formas, así como se presenta un modelo teórico de funcionamiento que permite aclarar los mecanismos que rigen el funcionamiento de los paisajes definiendo las funciones geoecológicas: fuerza, entrada, almacenamiento, producción, regulación e interacción, contribuyendo así, para un mayor conocimiento científico sobre los procesos de constitución de los paisajes en ambientes tropicales.

Palabras Clave: geoecología, estructura del paisaje, funcionamiento sistémico.

Introdução

Alterações nos sistemas ambientais através das ações antrópicas tem imprimido nas paisagens, mudanças significativas ou transformações irreversíveis nas estruturas e nos processos de funcionamento. Essas mudanças, tem implicações diretas nos estados de equilíbrio das paisagens, colocando em risco a sustentabilidade social, econômica, ambiental e cultural (VIDAL; MASCARENHAS, 2020a).

Importa saber, que as paisagens e seus componentes sempre sofreram alterações e mudanças (dinâmicas), com transformações nos seus aspectos estruturais, funcionais e dinâmicos e integrativos, resultantes de processos físicos-naturais e biológicos e que, aliados a isso, ocorre ainda a intensificação advindas das ações antrópicas (RODRIGUEZ; SILVA, 2019).

As alterações e conseqüentemente as mudanças nos sistemas ambientais tem inserido intensos processos de artificialização, o que retira das paisagens as dinâmicas que lhes são próprias, com produção, regulação, transporte e acumulação de matérias e energias, elementos essenciais do funcionamento integral do complexo natural territorial.

Sendo as estruturas e funções geoecológicas importantes para a compreensão das dinâmicas e/ou mudanças impostas em uma paisagem, é necessário considerar que em cada paisagem haverá estruturas compostas por forças e funções distintas que levaram ao funcionamento da mesma, estas, detém como via principal para manutenção do estado geoecológico os processos de autorregulação e auto-organização.

De acordo com os aportes de Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004), a estrutura é definida como a organização da paisagem que se expressa por formas e arranjos específicos. No tocante as funções, estas, são entendidas como as forças que dinamizam a paisagem manifestadas em: emissão, transmissão e acumulação, na qual podendo atribuir a uma célula elementar do geossistema as seguintes categorias de funções geológicas: a) função de força; b) função de entrada; c) função de armazenamento; d) função de produção e) função de válvula de interação.

Estrutura e funcionamento estão assim correlacionados, a arquitetura da paisagem (estrutura) condiciona a direção do funcionamento (VIDAL; MASCARENHAS, 2019).

Toda paisagem tem assim, sua estrutura e função que lhes são próprias, que se relacionam com suas capacidades de se autorregular ou auto-organizar. São sistemas núcleos na qual detém características que se complementam (interrelações), expressas pela junção dos aspectos morfológicos, climáticos, pedológicos, ecológicos e fisiográficos na qual agrupam-se em áreas homogêneas - esse é o princípio básico para agrupamento das paisagens - a homogeneidade, na qual cada agrupamento homogêneo possui características próprias de estrutura e função, a organização sistêmica é algo inerente à natureza e a superfície do globo terrestre.

Conhecer e determinar a estrutura e funcionamento de uma paisagem se faz importante por possibilitar perceber como as redes, e/ou canais estão conectados, determinando quais os fluxos e as principais funções desempenhadas, e assim poder entender a razão de determinados comportamentos cíclicos, podendo distinguir as forças, e os processos que elaboram as paisagens, bem como possibilita apontamentos para formas mais adequadas de manutenção e equilíbrio das paisagens.

Em face a essas questões, a aplicação de estudos integrados, baseados na Geoecologia das Paisagens fará uso de paisagens distintas a título de levar a comparação dos processos envolventes nas diferentes paisagens. Objetivando assim, compreender como as relações funcionais e estruturais da paisagem moldam domínios de natureza distintas com foco em paisagens tropicais úmidas.

Na prática, o conhecimento sobre a estrutura e funcionamento das paisagens contribui para o desenvolvimento de atividades de uso e ocupação mais racionais. Contribui também para tomadas de decisões mais técnicas, além de possibilitar o uso de ferramentas de gestão de cunho aplicativo, como os modelos de funcionamento sistêmico.

Estrutura e funcionamento da paisagem: uma revisão

Estudos que abordam aspectos relacionados ao funcionamento das paisagens com seus fluxos, autoregulação, capacidade mudanças e ou adaptações vem sendo discutidos com maior atenção por Richiling (1994); Rodriguez, Silva, Cavalcanti (2004). Autores brasileiros como Christofoletti, (1999) com a obra “análise de sistemas em geografia” e Monteiro (2000) com a obra “Geossistemas: a história de uma procura” contribuíram significativamente para pesquisas com o método sistêmico no Brasil, além de Soto, Chavez, Mallea (2013) e mais recentemente Vidal (2014); Vidal, Mascarenhas, (2020a; 2020b; 2019) estes, tem se debruçado sobre o método geocológico na definição e proposição da abordagem estruturo-funcional.

Porém, verifica-se a concentração de estudos de cunho geoambiental com uso da análise sistêmica que levam em conta a ênfase fundamentalmente em procedimentos como identificação, classificação e cartografia das unidades. Constata-se a necessidade de estabelecer atributos e propriedades sistêmicas, isso é, a noção de estrutura, funcionamento, dinâmica e evolução das paisagens (RODRIGUES; SILVA, 2019, p. 27).

Contribuição significativa do ponto de vista teórico e metodológico da Geoecologia da Paisagem no Brasil, vem sendo disseminada através da obra intitulada *Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental*, em sua terceira edição, publicada inicialmente em 2004. A referida obra, de autoria de Rodriguez, Silva, Cavalcanti (2004), constitui a pedra basilar dos estudos de cunho geocológico no Brasil, sendo a mesma a expressão metodológica que agrega em um único volume os pressupostos e caminhos para a análise das paisagens por meio de uma visão sistêmica.

A paisagem enquanto conceito sistêmico revela-se de acordo com as concepções de Rodriguez, Silva, Cavalcanti (2004) como:

Um conjunto interrelacionado de formações naturais e antroponaturais, um sistema que produz serviços e recursos naturais, um meio de vida e da atividade humana, fonte de percepção estética e cultural, genética e laboratório natural (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2004, p. 18).

A paisagem natural, caracteriza-se como “o conjunto de componentes naturais (estrutura, relevo, clima, solo, águas, vegetação e fauna) que se relacionam de maneira dialética em uma determinada porção do espaço da superfície terrestre” (VIDAL; SILVA; RODRIGUEZ; MASCARENHAS, 2014, p. 18). Já as paisagens antroponaturais ou culturais são definidas como a morfologia da forma do espaço, refletindo nas formas em que as ações

humanas, não só que foram modificadas e transformadas, mas também construídas dando forma à morfologia das paisagens (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2004).

O estudo das paisagens fundamenta-se na paisagem como um sistema, o qual deve atender aos enfoques estruturais, funcionais, dinâmico-evolutivos histórico antropogênico e integrativo. Os sistemas formadores da paisagem são complexos e, para compreendê-los, devem-se dá ênfase aos aspectos a seguir:

Figura 1 – Distintos enfoques que integram os estudos da Geoecologia das Paisagens



Fonte: Elaborado a partir dos aportes de Rodriguez; Silva; Cavalcanti (2004).

Para autores como Rougerie, Beroutchatchvili (1991), a estrutura da paisagem é um elemento relativamente estável e intrínseco à sua organização como sistema, que reflete a disposição dos elementos funcionais. Assim, Vidal *et al.*, (2014b), estabelece que a análise estruturo-funcional possibilita conhecer como é constituída a organização dos sistemas paisagísticos e como esses estabelecem seus processos.

Um tipo particular de sistema físico, dinâmico e aberto é o geossistema, que entre os diversos autores, assume as mais variadas definições. Uma das características mais importantes na determinação do funcionamento de um sistema aberto é a chamada autoregulação (resiliência), esta, se relaciona com a magnitude das forças e pressão que um sistema pode absorver, sendo, portanto, capaz de se auto-organizar e se adaptar (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2004).

Estrutura da paisagem

Para Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004, p. 112) ‘Entender e abordar os enfoques na análise de paisagem, sobretudo o estudo das estruturas espaciais só é possível através da compreensão da natureza como portadora de suas propriedades’. A estrutura da paisagem se

caracteriza pela forma de sua organização interior, é um elemento relativamente estável que possui índices e as propriedades dos objetos materiais e estruturais, apresentando-se em dois tipos distintos: a) vertical b) horizontal (RODRIGUEZ; SILVA, 2009).

Estrutura vertical: formada pela composição e inter-relação dos componentes da paisagem que estabelece suas ações no sentido vertical (geologia, geomorfologia, clima, hidrologia, solos, cobertura vegetal), consideram-se esses componentes estruturais enquanto estrato.

Estrutura horizontal: é a constituição morfológica ou plana representada por elementos que se repetem na organização dos componentes e processos, sendo expressa pelo arranjo ou padrão espacial da paisagem, como: formas e orientações dos contornos, tamanho, correlações, os tipos de configurações que conduzem a distribuição de energia, matéria e informação. É estudada mediante a análise da imagem da paisagem natural e pode apresenta-se como curvilíneas, alongadas e geométricas.

Funcionamento da paisagem

A função geocológica pode ser definida, de acordo com Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004, p. 132), “como o objetivo que cumpre o sistema em garantir a estrutura e funcionamento tanto do geossistema como do sistema superior ao qual pertence”. A estrutura funcional caracteriza-se pela conjunção e conexão de paisagens de níveis hierárquicos diferentes, que se interligam mediante ação das correntes e canais laterais ou geofluxos, constituindo-se através do intercâmbio de matéria, energia e substâncias que se produzem no sistema. Para o funcionamento da paisagem define-se:

Sucessão estável de processos que atuam permanentemente e que consistem na transmissão de energia, substâncias e informação, garantindo a conservação de um estado da paisagem, característico para um tempo rítmico (diário e anual) um determinado regime de funcionamento, que se diferencia da dinâmica (PREOBRAZHENSKII *et al.*, 1982).

Como funcionamento, entende-se os processos estáveis que ocorrem sequencialmente e atuam permanentemente na paisagem. As paisagens mantêm o regime de funcionamento a partir da emissão, transmissão e acumulação de matéria e energia.

A dinamização das estruturas é feita através de redes e canais executam a integração entre as paisagens, por vias de transmissão dos fluxos de matéria, energia e informação; as trocas de energias e substâncias acontecem regulamente e estabelecem as relações laterais ou

geofluxos. Para a área de estudo, os principais geofluxos que potencializam e dinamizam o sistema são: hídrico-litorâneo, hídrico-estuarino, litorâneo-eólico, hídrico-fluvial, hídrico-subterrâneo, gravitacional, dentre outros. Os processos na paisagem são possíveis através da manutenção da autoregulação, a esse respeito Armand (1984), nos coloca que a autoregulação leva a dois tipos de mudanças nos sistemas:

Mudanças radicais e não radicais. “As mudanças não radicais são aquelas transformações quantitativas quando se conserva a estrutura, mudando apenas o estado dos elementos e as forças das relações, as mudanças radicais são aquelas cujo transcurso se transforma a estrutura (ARMAND, 1984, p.58).

A autoregulação é o mecanismo de defesa do sistema, onde o mesmo tenta manter as relações existentes na busca da estabilidade. Não encontrando o equilíbrio, o sistema tende a ficar instável reduzindo a capacidade das funções geológicas manterem as atividades produtivas de entradas, processamento e saídas do sistema.

Metodologia

Para a aplicação e entendimento das bases estruturais e funcionais da paisagem, utilizou-se duas etapas distintas: uma de caráter teórico e outra de cunho empírico-hipotético. Do ponto de vista teórico, a discussão sobre a estrutura e funcionamento tem suas bases nas concepções de Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004); Vidal; Silva; Rodríguez e Mascarenhas (2014a); e Vidal, Mascarenhas (2014a e 2014b).

A partir dessas bases, foram definidos dois principais fundamentos: estrutura e funcionamento a serem definidas no presente texto. Para desenvolver a parte empírica, decidiu-se integrar os modelos estruturais e funcionais para áreas em ambientes tropicais (Serra de Carajás no Estado do Pará e o Monte Roraima no Estado de Roraima), na qual utilizou-se das seguintes variáveis (funções) como construção dos modelos: entrada, produção, regulação e interação. Essas variáveis, fazem parte do modelo estruturo-funcional a serem correlacionados entre si, e que serve como identificação dos processos e dinâmicas nas paisagens selecionadas.

Partindo dessa perspectiva, a lógica de construção dos modelos obedeceu às sequências: delimitação das unidades geológicas, métricas das estruturas (número de áreas, tamanhos e orientação dos contornos) e estabelecimento das relações funcionais. Os resultados serviram para a construção dos modelos representativos.

Serra de Carajás: o domínio das terras florestadas e enclaves de Campus Rupestres

Pertence ao Domínio Amazônico, localiza-se na região Sudeste do Estado do Pará-Brasil, a Serra de Carajás compreende vastas áreas com características distintas de outras regiões da Amazônia, por possuir paisagens com dois geossistemas em harmonia, floresta ombrófila e campos rupestres (geossistemas ferruginosos). Os campos rupestres compõem geossistemas ferruginosos com paisagens complexas que detêm rica geodiversidade, predominando afloramentos rochosos de hematita, com solos rasos congregados e vegetação com elevado índice de endemismo (CARMO *et al.*, 2012; CORRÊA *et al.*, 2016; MOTA *et al.*, 2015).

Os condicionantes físicos de Carajás e seus componentes mineralógicos, climatológicos, hidrológicos, pedológicos, biogeográficos interagem na elaboração de paisagens de exceção (AB'SABER, 1986). Pela importância ecossistêmica da Floresta Amazônica e pelo endemismo conferido aos campos rupestres (HAFFER; PRANCE, 2002; ARDENTE *et al.*, 2016) estas áreas resguardam importantes serviços ecossistêmicos (CONSTANZA *et al.*, 1997) ou funções geoecológicas (VIDAL, 2014; VIDAL; MASCARENHAS, 2019). Com predomínio de formações florestais e em menor quantidade áreas abertas como savanas e campos rupestres, dois sistemas ambientais compõem essa unidade: Sistema Florestal e Sistema Ferruginoso.

Monte Roraima: Domínio de Terras Altas (*Highland*) e Terras Baixas (*Lowland*)

Ao Sul da Venezuela e Norte do Brasil destacam-se geoformas montanhosas acima de 2000m de altitudes, compostas por quartzitos e arenitos pré-cambrianos do Escudo das Guianas (REIS, 2006), denominados localmente de Tepuis - palavra indígena que significa “*broto de pedra*” (HUBER, 1995; 2005).

Entre as diversas geoformas impera imponente o Monte Roraima, os sistemas de montanhas fornecem importantes habitats quase intocados para uma variedade de flora e fauna endêmicas (NOGUÉ *et al.*, 2009), além de ser um *hotspot* de geodiversidade com expressivos geomorfossítios que potencializam atividades geoturísticas (SAFONT *et al.*, 2012).

As paisagens isoladas do Monte Roraima são sistemas complexos que servem de laboratório para pesquisas envolvendo dinâmicas e processos evolutivos das paisagens de montanhas. Tais paisagens são compostas por elevada biogeodiversidade e heterogeneidade ambiental, representadas por complexa evolução das superfícies mais antigas do planeta, que interagem com superfícies elaboradas em períodos atuais.

Para as áreas em estudo, individualizou-se em unidades geológicas com agrupamentos homogêneos que incluem os sistemas ambientais: para o monte Roraima os Sistemas de Montanhas (terras altas) e Sistemas de Planícies (terras baixas), e para a Serra de Carajás os Sistemas Florestados e Sistemas Ferruginosos. A composição dos modelos digitais de elevação (MDE) e as observações em campo, foram necessárias para a construção dos modelos de funcionamentos expostos nos perfis geológicos para as áreas de Carajás e Roraima. As relações entre as unidades geológicas é o fator de maior significância, uma vez que tais unidades delimitadas fazem parte de um conjunto de processos que expressam as estruturas em arranjos, forma e contornos da paisagem atrelados aos seus funcionamentos.

A avaliação da estrutura da paisagem leva ao desenvolvimento de um conjunto de métodos que podemos chamar de medidas da estrutura da paisagem “métricas”, para tanto, faz-se necessário a elaboração do mapa de unidades geológicas para que sobre este, analisar o número de áreas, tamanhos e orientação dos contornos. O entendimento da organização espacial frente à estrutura da paisagem implica na busca das formas adequadas (tamanho, área, altura, etc), dos tipos e intensidades de usos em dependência da funcionalidade da paisagem.

No tocante as funções geológicas, estabeleceu-se para cada unidade sua função prioritária, determinando sua função geológica principal: a) Força, b) Entrada, c) Armazenamento, d) Produção, e) Regulação, f) Interação.

Para a composição das legendas e simbologias contidas nos perfis geológicos, toma-se como base de interação e releitura de termos e conceitos contidos na Geoecologia e a Ecologia da Paisagem. Os esquemas e fluxos energéticos de Odum; Barret (2007) servem como base de inspiração para as denominações das simbologias de funcionamento e estruturação dos fluxos, bem como as bases da Ecologia da Paisagem com suas métricas e esquemas de fluxos propostos por Forman (1995); Forman e Gordron (1986); Metzger (2001); Turner (1989) Turner, Gardner, O'Neill (2001); Neef (1967); Ricklefs (1990). Para a espacialização dos dados usou-se o *Arcgis Pro* e para os padrões artísticos visuais contidos nos perfis geológicos fez-se uso de Softwares distintos como *Inkscape* e *CorelDraw*.

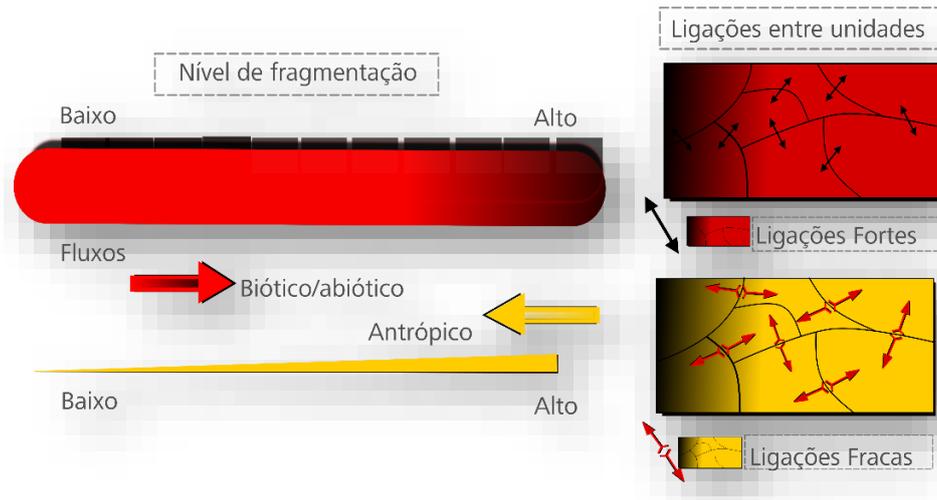
Resultados e discussões

Promovendo modelos que incorporem o nível estruturo-funcional

Os processos e funções paisagísticas são aqueles que ocorrem entre diferentes unidades geológicas, a importância dos processos paisagísticos é evidente quando há uma desconexão na ocorrência espacial (fragmentação da estrutura). A fragmentação da estrutura (Figura 2),

diminui a capacidade do sistema em manter o equilíbrio e seu funcionamento, sua autoregulação.

Figura 2 - Níveis e efeitos da fragmentação estrutural que afetam os processos de funcionamento nas unidades de geocológicas.



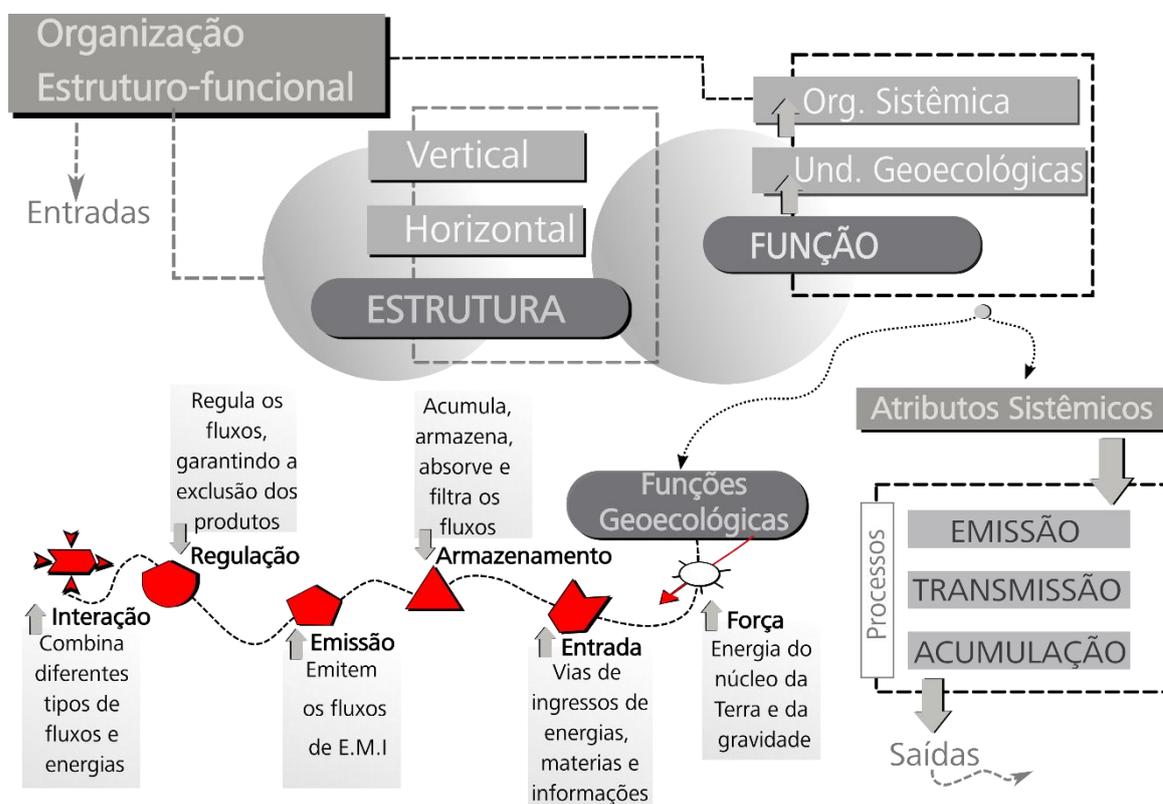
Fonte: Elaboração da autora (2021).

Na figura 2, as ações antrópicas (na rampa de nível amarelo), levam a fragmentação da estrutura paisagística, enfraquecendo suas ligações entre as unidades e subunidades. Estas, quanto mais intensas, mais levam a fragmentação da estrutura, estabelecendo relações fracas entre as unidades da paisagem. As ações antrópicas podem ser exemplificadas como aberturas de estradas, canalização de rios, desmatamentos, barramentos, aterros em planícies litorâneas, espigões, molhes, mineração (cavas), dentre outras. Estas, inserem assim, alto nível de interferência nas unidades e ligações das subunidades fragilizando as conexões estruturais, obrigando o sistema a se autorregular.

Ações de ordem bióticas e abióticas embora sejam possíveis de interferir na composição da estrutura, detém menor significância na ordem dos impactos (fragmentação estrutural), daí haver um equilíbrio dinâmico entre as demandas e serviços ecossistêmicos, regulados por leis naturais de funcionamento. Configuração da paisagem, composição da estrutura, proximidade das unidades e subunidades e manutenção dos geofluxos são então, as categorias de efeitos que fortalecem as ligações entre as unidades geocológicas. A manutenção da conectividade das unidades possibilita o desenvolvimento dos atributos sistêmicos, expressos por: emissão,

transmissão e acumulação, estes, por sua vez estabelecem as funções geológicas estruturadas na figura 3.

Figura 3- Organização estruturo-funcional da paisagem.



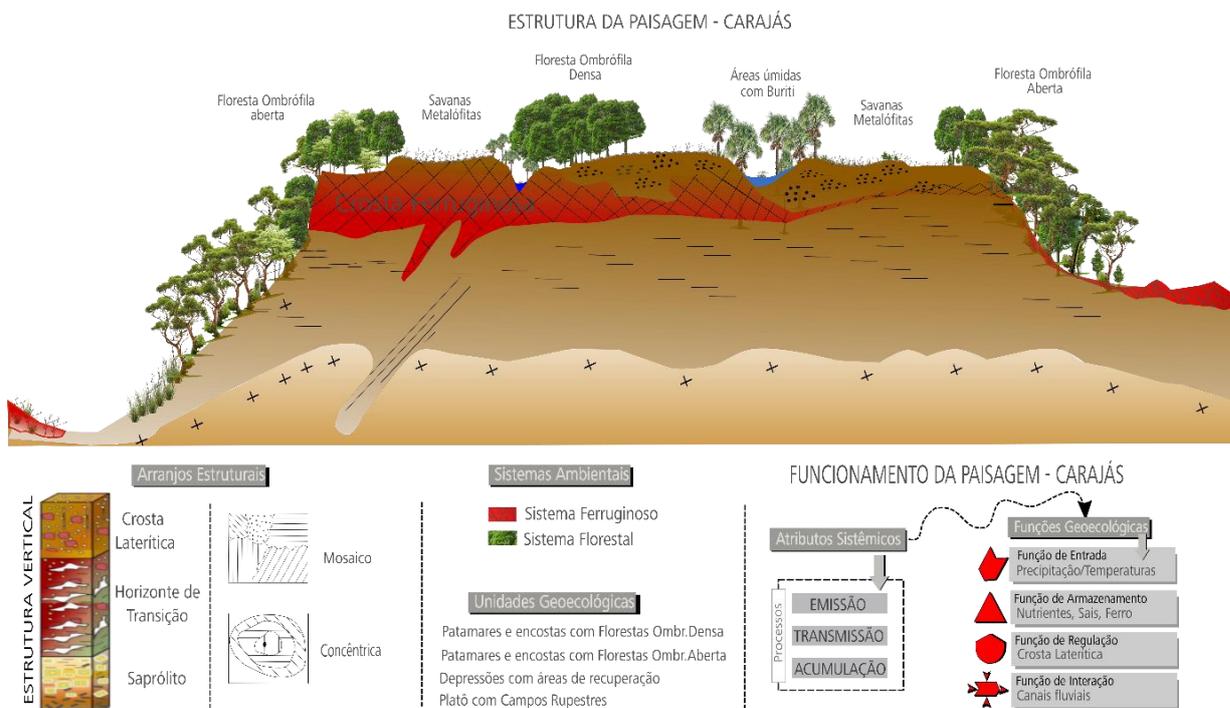
Fonte: Elaboração da autora (2021).

O esquema descritivo da figura 3, mostra os caminhos de interação das estruturas e funcionamento da paisagem. Apresenta ainda, a relação entre a estrutura e os atributos sistêmicos (emissão, transmissão e acumulação), as esferas em tons de cinza na figura 3, se correlacionam com os subsistemas que são autônomos na sua estrutura e se interligam através das funções geológicas: força, entrada, armazenamento, produção, regulação e interação. Processos e estruturas estão num jogo alternado de causa e efeito. Assim, inferimos que, os processos que ocorrem na paisagem geram padrões estruturais e por sua vez os padrões estruturais são elaborados por seus processos. As funções geológicas, são intrínsecas a estrutura da paisagem.

A apresentação do perfil geológico (figura 4) aponta para o entendimento de que os estudos geológicos levam à compreensão da interligação dos condicionantes ambientais e que as relações de fluxos de matéria e energia permite então apontar para a situação funcional

da paisagem, como abordado por Rodriguez, Silva, Cavalcanti (2004) e Vidal, Mascarenhas (2020b).

Figura 4 – Perfil geocológico apresentando a relações entre a estrutura e funcionamento da Serra de Carajás



Fonte: Elaboração dos autores (2021)

Na figura 4, que apresenta as bases de interação para a Serra de Carajás, estrutura e funcionamento são apresentados num contínuo de interação, onde a estrutura geológica está associada à geomorfologia regional e às condições climáticas tornam possível a existência de paisagens distintas (elevado endemismo), que envolvem formações florestais sobre solos tropicais profundos, em relevos acidentados.

E formações de estrato arbustivos e herbáceos (Campos Rupestres) sobre solos pouco desenvolvidos em relevos planos, no qual a estrutura vertical apresenta o saprólito com horizontes de transição sob a crosta laterítica (SCHAEFER, et al., 2008). O manto de alteração sobre rochas ferríferas é constituído por um representativo pacote de saprólito de interesse comercial.

A crosta laterítica detém função de regulação, essencial no sistema por imprimir resistência aos processos erosivos no platô e dinamizar os parâmetros de desenvolvimento da

vegetação dos campos rupestres. A Serra Norte e a Serra Sul, juntas, formam as principais elevações da Serra dos Carajás. A mesma apresenta arranjos estruturais em forma de mosaico e em algumas áreas esse arranjo se apresenta em formas concêntricas, isso se dá, em função das cavas de mineração existentes na Serra Norte (exemplo das minas denominadas N4 e N5).

Neste transcurso, compreende-se que todo o conjunto dos platôs com a presença de vegetação herbáceo-arbustiva, denominada de campos rupestres, em associação com a Floresta Ombrófila, nos patamares e vertentes da serra, constituem dois sistemas ambientais distintos: Sistema Florestal (Planalto dissecado de formação florestal, com patamares e encostas com predomínio de floresta ombrófila densa e aberta) e Sistemas Ferruginosos (Platô com Campos Rupestres). As unidades funcionais delimitam a ordem de funções sistêmicas da paisagem para as áreas em estudo (emissão, transmissão, acumulação e regulação), equilibram todo o funcionamento da paisagem (Quadro 1).

Quadro 1 - Funções geocológicas que dinamizam as paisagens da Serra de Carajás e suas correspondentes com as estruturas

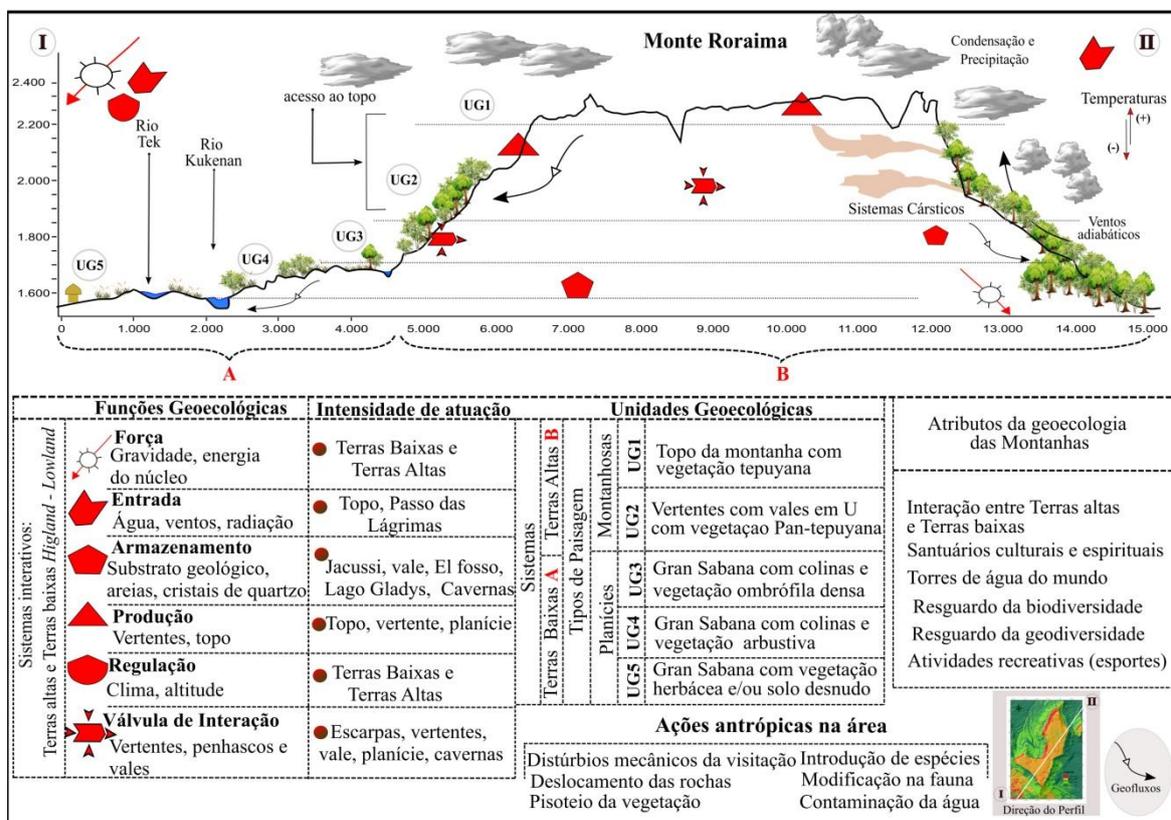
Funções Geocológicas	Interações dos processos	Correspondência na área (figura 5)
 Entrada	Clima e altitudes são as principais funções de entrada. As altitudes acima de 650m condiciona o clima equatorial mesotérmico de altitude. Temperaturas mensais entre 19°C a 31°C, com precipitação média de 229mm inserem água no sistema para a manutenção e ciclo da floresta-solo-lagoas.	<ul style="list-style-type: none"> -Sistemas Florestais -Sistemas Ferruginosos
 Armazenamento	Armazenam, absorvem, filtram e amortizam os fluxos que são transmitidos de forma concentrada ou seletivamente através das áreas mais altas para as áreas mais rebaixadas.	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas deprimidas no sopé das vertentes - Planícies fluviais - Lagoas perenes
 Reguladoras	Operam na paisagem regulando o armazenamento de sedimentos, nutrientes, sais, etc, e a contenção dos processos erosivos, desenvolvida pela “canga” ou crosta laterítica ferruginosa endurecida “duricrust” no platô da Serra, que imprimi significativa resistência aos processos erosivos que promovem o recuo das encostas, mantendo o platô estável.	<ul style="list-style-type: none"> - Crosta laterítica “cangas”
 Interação	Áreas que transportam energia e matéria, esta função é exercida e controlada pela direção das vertentes e fluxos hídricos (interação entre o platô e as vertentes).	<ul style="list-style-type: none"> - Canais fluviais, -Platô-vertente-encosta

Fonte: Elaboração da autora (2021)

A sinergia da paisagem com filtros, fluxos e barreiras geográficas relacionadas à variação altitudinal e interações entre a floresta ombrófila densa e aberta e o sistema ferruginoso representam as forças mais importantes que dinamizam a paisagem em tela, que leva à vasta gama de adaptações tanto da flora como da fauna, com seu alto endemismo e riqueza de espécies dos campos rupestres. Fator particular das paisagens é a propriedade de autorregular-se, capacidade na qual o sistema enfrenta as perturbações, ou detectar mudanças ambientais e gerar adaptações na sua própria estrutura para manutenção dos processos.

No tocante as montanhas (Figura 5), estas são entidades de difícil caracterização, pois, incorporam em seu universo a verticalidade como principal fator de processos e dinâmicas, mas é em sua tridimensionalidade que ganha maior complexidade. Para interpretar os fenômenos físicos das paisagens, é necessário operar em diferentes escalas espaciais e temporais (SAHDEV; SINGH; KUMAR, 2020). Para o Monte Roraima, dois sistemas ambientais foram delimitados: Sistemas de Montanhas (Terras Altas - *Highland*) e Sistemas de Planícies (Terras Baixas- *Lowland*), as terra baixas constituem as unidades que integram a Gran Sabana.

Figura 5 – Perfil delimitação das unidades geocológicas do Monte Roraima e seu entorno na Gran Sabana



Fonte: Elaboração da autora (2021)

O perfil geocológico do Mote Roraima (figura 5), no qual individualizou-se em unidades de paisagem com agrupamentos homogêneos que incluem o topo do Monte Roraima e as áreas de vertentes que incluem a Gran Sabana - caracterizadas como vastas planícies ao entorno do Monte Roraima. Como critério básico de delimitação das unidades geocológicas foram considerados, os padrões dos aspectos da vegetação savânica e Tepuiana, na qual, delimitou-se cinco unidades geocológicas descritas na figura 5.

No topo da montanha com vegetação tepuyana, a função geocológica de entrada é expressa pela umidade permanente e a alta precipitação que aceleram os processos de intemperismo químico, aliados a ação do vento que imprime dinâmicas formando exuberantes feições ruiformes. Assim, a água e ação eólica são os principais agentes da dinâmica do topo, configurando a função de entrada no sistema. O topo guarda também a função de armazenamento e produção, como solos, areias, substrato geológico e cristais de quartzo. A ação da água também leva à formação de ambientes cársticos que emergem na zona de escarpa.

As vertentes com vales em U com vegetação Pan-Tepuyana, possibilita através da declividade das escarpas a mobilização de fluxos. Aponta-se para duas funções fundamentais, função de produção do topo para a base da montanha e a função de válvula de interação entre os sistemas Terras Altas e Terras Baixas.

Na Gran Sabana com colinas e vegetação arbustiva (Terras Baixas), a função geocológica se expressa com tipo de paisagem de planície, abrigando colinas vegetadas com arbustos, se configuram como função de armazenamento de matéria, fluxos e energias advindas das áreas mais elevadas. A altitude controla a temperatura e precipitação – gradiente que controla a força erosiva nas paisagens de *highland e lowland*. A rugosidade do relevo disponível confere encostas com feições côncavas (que tendem para concentrar água) e encostas com feições convexas (que tendem a derramar água), contribui para a degradação química das rochas e remoção de material clástico – estes são, por gravidade, levados e depositados em áreas deprimidas ou carregados para as Terras Baixas na Gran Sabana. O microclima gera aspectos que controlam a quantidade de energia radiante recebida na superfície e leva a climas de encostas e topo e planícies altamente contrastantes.

Considerações Finais

O enfoque estruturo-funcional se mostra vital para a constituição das paisagens, sendo necessário considerar que em cada paisagem haverá estruturas compostas por forças e funções distintas que levaram a disposição dos arranjos estruturais e ao funcionamento da mesma, estas,

detém como via principal para manutenção do estado geocológico os processos de autorregulação e/ou auto-organização.

Ciclos de entradas, transformações e saídas compõem o funcionamento das paisagens. É a sequência de processos que atuam permanentemente e que consistem na transmissão de energias, matéria e informação. Processos como balanços energéticos, sinergias, estado geocológicos e retroalimentação levam ao entendimento das relações e integrações existentes entre os componentes que formam as paisagens.

As relações entre a estrutura e o funcionamento das paisagens levam a sistemas ambientais com significativa complexidade. A estrutura é constituída pelos elementos e a relação entre os mesmos, estabelecendo padrões onde os atributos fundamentais são os componentes dos sistemas, as formas dos contornos (naturais e/ou geométricas) as relações de vizinhanças, conexões e limites que possibilitam estabelecer duas direções: estrutura vertical e horizontal. A estrutura é assim o suporte físico do sistema para que o seu funcionamento possa ser efetivado.

O planejamento racional embasado em uma visão estrutural e funcional só irá lograr sucesso se levar em considerações os atributos sistêmicos da paisagem que permitem definir limites espaciais e funcionais, de outra maneira, a dotação de resoluções públicas coletivas (políticas públicas) devem primar pelo conhecimento das funções e estruturas da paisagem nos planos de ordenamento ecológicos e econômicos.

Referências

- AB'SÁBER, A.N. Geomorfologia da região. In: ALMEIDA, J. M. G. de. **Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento**. São Paulo: Brasiliense, 1986.
- ARMAND, A. D. Los procesos del auto desarrollo y la dirección en los geossistemas. In: **Conceptos principales, modelos y métodos de las investigaciones geográficas generales**. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de la URSS. 1984.
- ARDENTE, N. C.; FERREGUETTI, A. C.; GETTINGER, D.; LEAL, P. et al. Diversity and Impacts of Mining on the Non- Volant Small Mammal Communities of two vegetation types in the Brazilian Amazon. **PLoS ONE**, v. 11, n. 11, 2016.
- CARMO, F. F.; CAMPOS, I. C.; JACOBI, C. M. Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação. **Ciência Hoje**, p. 48-53, 2012.
- CONSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem service and natural capital. **Nature**, v. 387, n. 17, 1997.

CORRÊA, G. R.; SCHAEFER, C.E.G. R.; CORRÊA, G.F. Caracterização de solos derivados de rochas máficas na Serra de Carajás. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.*, v. 11, n. 1, p. 33-47, 2016.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. 1999. **Modelagem de sistemas ambientais**. Edgard Blücher, São Paulo. 1999.

FORMAN, R.T.T; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York, John Wilwy e Sons. 1986.619p.

HAFFER, J.; PRANCE, G. T. Impulsos climáticos da evolução na Amazônia durante o Cenozoico: sobre a Teoria dos Refúgios da diferenciação biótica. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 46, 2002.

Huber, O. Geographica land physical features In Berry, P.E.; Holst, B.K.; Yatskievych, K. (eds.), **Flora of the Venezuelan Guayana**, I. Introduction. St. Louis:Missouri Botanical Garden Press, 1995.

Huber, O. Diversity and vegetation types in the Guayana Region, an overview, **Biologische Skrifter**,55,169-188. 2005.

METZGER, J. P. **O que é Ecologia de Paisagem?** São Paulo, 2001.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueireiro. **Geossistemas: a estória de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.127p.

MOTA, N. F. O; SILVA, L.V.C; MARTINS, F.D; VIANA, P.L. **Vegetação sobre Sistemas Ferruginosos da Serra dos Carajás**. In: CARMO, F.F; KAMINO, L.H.Y (orgs.). Geossistemas Ferruginosos no Brasil. Instituto Prístino, Belo Horizonte:2015. p.289-315.

NEEF, E. **Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre**. VEB HERmann Haak, Gotha/ Leipzig. 1967.

NOGUÉ, S; RULL, V; MONTOYA, E; HUBER,O. Paleoecologiadadas Terrasaltas deguayana (norte da América do Sul): registro de pólen holoceno do Eruoda-tepui, no chimantámassif. **Palaogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, 281, 165-173. 2009.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de ecologia**. Thomson Learning, São Paulo. 2007

PREOBRAZHENSKII, V.S. **Protección de la naturaleza: diccionario interpretativo**. Moscou: Progress. 1982. 272 p. Tradução livre: José Manoel Mateo Rodriguez.

REIS, N. J. Monte Roraima, RR: sentinela de Macunaíma In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E. T.; Campos,D.A.; Souza,C.R.G.; Fernandes,A.C.S. (ed.),**Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**, 2006.p. 89-98. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/sigep>. Acesso em 10/10/2021.

- RICKLEFS, R. E. **Ecology**. 3. ed. W.H. Freeman. 1990.
- RICHILING, A. **landscape research ant its applications in envirmetal managememt**. Porland: University of Warzaw, 1994, 121.p.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. **Teoria dos Geossistemas o legado de Sochava: fundamentos teórico-metodológicos**. Fortaleza: Editora UFC, 2019.
- RODRÍGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. A Classificação das Paisagens a Partir de uma visão Geossistêmica. **Mercator**, Fortaleza, v. 1, n. 1, jan. 2009. ISSN 1984-2201.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Editora UFC, 2004.
- ROUGERIE, G.; BEROUTCHVILI, N. **Geossystemes et paysagens**. Paris: Colin Editores, 1991.
- SAFONT, E. et al. « Utilização de ferramentas de avaliação de impacto ambiental (eia) para definir prioridades e otimizar estratégias de conservação da biodiversidade», *biol.conserv.*, 149 | 2012.
- SAHDEV, S.; SINGH, R. B.; KUMAR, M. (Edts) **Geocology of Landscape Dynamics**, Springer, 2020.
- SCHAEFER, G. E. R.; SIMA, F. N. B.; MENDONÇA, B. A. F.; SABOYA, A. S.; FERREIRA JUNIOR, W. G.; NUNES, J. A.; CORREA, G. R. Geodiversidade dos ambientes de canga na região de Carajás-Pará. **Relatório técnico Vale do Rio Doce**, 2008.
- SOTO, R.P.; CHAVEZ, E. S.; MALLEA, A.A. A la resiliencia como indicador en el ordenamiento ambiental del golfo batabanó, Cuba. **Monfrague**: México, v.1,n.1,p.2-25, 2013.
- TURNER, M.G. **Landscape ecology: the effect of pattern on process**. Annual Review of Ecology and Systematic. n. 20. v.171-197. 1989.
- TURNER, M.G.; GARDNER, R. H.; O'NEILL, R.V. **Landscape ecology in theory and practice: pattern and process**. Springer, New York. 2011.
- VIDAL. M, R.; MASCARENHAS, A. L. S. Estrutura e funcionamento das paisagens litorâneas cearenses à luz da Geoecologia das Paisagens. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 600-615, 2020a.
- VIDAL, M. R.; MASCARENHAS, A. L. S. Mapeamento geoecológico no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos de Carajás / Para –Brasil. **Ateliê Geográfico**.v.14, n.3, p.218-238, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.5216/ag.v14i1.59613>
- VIDAL, M. R.; MASCARENHAS, A. L. S. Estrutura e funcionamento das paisagens da área de proteção ambiental do estuário do rio Curu/CE. **Confins**, v. 43, 2019. <http://journals.openedition.org/confins/24800>; DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.24800>

VIDAL, M. R. **Geoecologia das paisagens: fundamentos e aplicabilidades para o planejamento ambiental no baixo curso do rio Curu-Ceará-Brasil**. 2014. 190 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

VIDAL, M. R.; SILVA, E. V.; RODRÍGUEZ, J. M. M.; MASCARENHAS, A. L. S. **Aplicação do enfoque funcional na interpretação geocológica das paisagens**. In: SILVA, C. N.; SILVA, J. M. P.; CHARGAS, C. A. N. (Org.). Geografia na Amazônia paraense: análise do espaço geográfico. Belém, PA: GAPTA/UFPA, 2014a. p. 149-170.

VIDAL, M. R.; SILVA, E. V.; RODRÍGUEZ, J. M. M.; MASCARENHAS, A. L. S. Análise de modelos funcionais em paisagens litorâneas. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará**, Belém, v. 1, n. 1, p. 103-116, 2014b. DOI: <http://dx.doi.org/10.17553/2359-0831/ihgp.n1v1p107-122>.

Recebido em 01 de setembro de 2021.

Aceito em 10 de outubro de 2021.

Publicado em 05 de novembro 2021.