

ECOLOGIA DE PAISAGENS RURAIS NA AMAZÔNIA: NOVAS PERSPECTIVAS DE ANÁLISE

Mateus Batistella
Indiana University/ACT
Student Building, 331
47405 Bloomington, IN, USA
Tel. 11-812-855-2642 Fax. 11-812-855-3000
E-mail: mbatiste@indiana.edu
<http://www.indiana.edu/~act>
<http://www.nma.embrapa.br>

RESUMO

Os principais vetores de colonização da Amazônia são consequências de vários processos ecológicos. Diferentes estratégias de uso das terras, históricos sócio-econômicos e relações com a heterogeneidade biofísica na Bacia tem produzido uma variedade de cenários passíveis de monitoramento. Este trabalho discute alguns avanços recentes nas técnicas de quantificação em ecologia de paisagens e suas aplicações potenciais na Amazônia. O estudo destas interações confere uma dimensão prática a essa área de pesquisa, pois estabelece as bases científicas para o planejamento, o manejo, a conservação e o desenvolvimento dos territórios. Em particular, a Região Amazônica desperta grande interesse, devido ao processo de desflorestamento e às dinâmicas de ocupação. A partir dos recursos da ecologia de paisagens e do geoprocessamento, vários índices podem ser utilizados para comparar suas diferentes feições paisagísticas. Mas como discriminar as distintas unidades de análise que compõem a paisagem? Algumas métricas são listadas, a título de exemplo. A partir da interação de pesquisadores em torno destas recentes possibilidades de pesquisa, melhores condições serão reunidas para conhecer, manejar e monitorar a heterogeneidade espacial das paisagens amazônicas, permitindo abordagens mais objetivas sobre as urgentes decisões de planejamento de seus recursos regionais.

ABSTRACT

The main vectors of colonization in the Amazon are consequences of several ecological processes. Different land use strategies, socio-economic history, and relations with the biophysical heterogeneity within the Basin have produced a variety of scenarios to be monitored. This paper discusses some recent advances in landscape ecology quantification methods and their potential applications to the Amazon, mainly due to the deforestation processes and the dynamics of occupation. The study of these interactions brings a practical dimension to this field of research, establishing quantified parameters for the environmental management of the region. Using the methods of landscape ecology and the geoprocessing techniques, several metrics can permit the comparison between different landscapes. But how can we distinguish the unities of analysis that make a landscape? As an example, some metrics are described. These recent research orientations, based on the spatial characteristics of landscape mosaics, will allow more objective approaches about the urgent planning of the Amazon development and preservation.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os problemas ambientais atingiram uma dimensão planetária, realçando a função pragmática da ciência ecológica. Questões como a mudança global consequente do aumento da concentração de poluentes; a alteração dos fluxos de matéria, energia e ciclos biogeoquímicos nos sistemas ecológicos naturais; a dinâmica do uso das terras e a tendência ao desflorestamento; a perda de biodiversidade; a fragmentação de habitats, entre outros fenômenos, têm gerado polêmica e atingido a opinião pública. Tratam-se de temas de importância reconhecida, geralmente acompanhados da dificuldade de consenso.

Paralelamente à evolução dos problemas ambientais ocorre a expansão de novas concepções teóricas em ecologia, novos métodos de abordagem sobre as dinâmicas do espaço geográfico e muitas possibilidades de aplicação prática no planejamento e manejo dos recursos renováveis e não renováveis. A atualidade do tema pode ser exemplificada por diversas pesquisas científicas, particularmente em recentes conceituações e resultados da ecologia de paisagens (Turner et al., 1989), da ciência da informação geográfica (Goodchild, 1992), além dos novos paradigmas da sustentabilidade agroecológica (Goodland et al., 1993).

No Brasil, um dos principais objetos de interesse nacional e internacional relacionados a essa problemática refere-se ao ordenamento territorial da Amazônia, principalmente em zonas de transição entre formas de ocupação natural ou antrópica. Porém, a abordagem do assunto ainda depende de novos estudos e algumas questões continuam sem resposta.

Qual é a atual extensão dos principais usos das terras amazônicas? Quais destes usos parecem ser mais importantes no futuro? Como pode ser conciliado o desenvolvimento sócio-econômico e a necessidade de conservação e manejo dos recursos naturais? Como a aplicação das pesquisas espaciais pode contribuir para uma leitura da paisagem em termos quantitativos? E como utilizar e aplicar estes métodos para a quantificação e qualificação da heterogeneidade espacial de paisagens na Amazônia Brasileira, caracterizadas pela transição entre diferentes padrões espaciais e formas de ocupação?

Este artigo visa contribuir à discussão das possibilidades de aplicação de algumas medidas relativas às características espaciais da paisagem para análise de diferentes sistemas de uso da terra presentes na Amazônia Brasileira. Ênfase é dada à descrição de índices e métricas de quantificação da paisagem e seus elementos.

2. AMAZÔNIAS: UMA LEITURA DA PAISAGEM ATRAVÉS DOS PROCESSOS ECOLÓGICOS

Vários esforços já vem sendo realizados, com o intuito de caracterizar as paisagens amazônicas. Através da utilização de diferentes ferramentas do geoprocessamento e do sensoriamento remoto, alguns trabalhos estão disponíveis para a comunidade científica e público em geral. Um panorama destes meios e métodos de pesquisa pode ser consultado também pela Internet: <http://www.pathfinder.sr.unh.edu/pathfinder/index.htm>, http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/LBA/LBA_home.htm, <http://yabae.cptec.inpe.br/lba/index.htm>, <http://www.inpe.br> <http://www.nma.embrapa.br> <http://www.indiana.edu/~açtentre> outros.

O extenso território e a significativa variabilidade ecológica da região são as principais dificuldades encontradas. Por isso, torna-se de fundamental importância estabelecer alguns marcos referenciais antes da árdua empreitada de cartografar a Amazônia com algum propósito temático. Simplesmente utilizar imagens de satélites para fazer mapas de uso das terras é quase um diletantismo, apesar de ser o primeiro e essencial passo para um diagnóstico da ocupação.

Procurando enfrentar esse dilema, duas estratégias principais tem sido utilizadas pelos pesquisadores. A primeira baseia-se na escolha de um tema de relativa simplicidade a ser analisado para a região como um todo. São trabalhos dedicados à realização de diagnósticos urgentes e essenciais para a espacialização e quantificação de fenômenos como o desflorestamento ou as queimadas na Amazônia, por exemplo (INPE, 1996; Skole & Tucker, 1993; Miranda et al., 1994).

A outra estratégia consiste em selecionar algumas áreas de estudo, caracterizadas não apenas pelo arranjo de seus ecossistemas, mas pela ocorrência de processos ecológicos diferenciados, tais como a rota para o Pacífico no Acre; a expansão da fronteira agrícola em Rondônia; a produção agropecuária em zonas de transição fitogeográfica no Mato Grosso; as dinâmicas de desenvolvimento do Estado do Tocantins; o arranjo espacial das cidades e propriedades às margens da Transamazônica; a antiga colonização da Região Bragantina no Pará; a ocupação gradual no Amapá; e a preservação ou extrativismo em Roraima são indicadores de fenômenos distintos de ocupação. Esses processos são então abordados de forma multidisciplinar, a partir da manipulação de planos temáticos de diversas naturezas.

As considerações metodológicas feitas a seguir estão relacionadas à integração entre essas duas formas de abordagem, na qual a leitura da paisagem é realizada através da análise e síntese de uma série de parâmetros ecológicos e não apenas do mapeamento de um parâmetro temático. Nesse sentido, a ênfase dessas pesquisas reside na definição dos processos a serem estudados, para permitir análises comparativas entre diferentes mosaicos paisagísticos.

O elo de ligação entre essas duas perspectivas está no imenso potencial de utilização dos dados já produzidos pelos grandes projetos de base e pela crescente capacidade de tratamento dos mesmos em sistemas informatizados.

3. ASPECTOS CONCEITUAIS

É extenso o material bibliográfico sobre o interesse dos geógrafos e ecólogos nos padrões espaciais da paisagem e na distribuição geográfica dos organismos (Turner, 1989). Esta forma de abordagem, responsável por uma leitura ecológica do espaço geográfico, é hoje consolidada na ecologia de paisagens. O termo foi inicialmente proposto por Troll (1939) e utilizado por Schmithusen (1942) e Neef (1956), entre outros. A tradição européia em estudos de geografia regional e ecologia da vegetação estiveram no berço desta recente ciência (Bertrand, 1968; Godron et al., 1968; Long, 1974; Jurdant et al., 1977; Godron, 1984). Seu desenvolvimento histórico foi extensamente revisado por Naveh (1982) e Naveh & Lieberman (1984).

O conceito de paisagem sempre esteve presente na história da civilização, seja como motivação artística, como descritor complementar na delimitação de territórios ou, mais recentemente, como objeto de estudo, análise e síntese. Nesse último aspecto encontram-se as novas concepções sobre a distribuição dos sistemas ecológicos. A paisagem deixou de ser apenas "um espaço de terreno que se abrange num lance de vista" (Amandier, 1973) para significar, de forma ampla, qualquer área espacialmente heterogênea (Forman & Godron, 1981), passível de estudo dos efeitos recíprocos entre os padrões espaciais e os processos ecológicos (Pickett & Cadenasso, 1995).

O estudo destas relações confere uma dimensão prática à ecologia de paisagens, na medida em que procura estabelecer as bases científicas para o planejamento, o manejo, a conservação e o desenvolvimento dos territórios (Leser & Rodd, 1991). Tanto na expressão

relacionados à escala espacial e temporal (Allen & Starr, 1982). Como as paisagens são áreas espacialmente heterogêneas, sua estrutura, função e dinâmica são dependentes da dimensão do objeto ou processo observado (Meentemeyer & Box, 1987).

Recentes desenvolvimentos teóricos têm enfatizado as relações entre padrões e processos da paisagem e o efeito que alterações na escala espacial exercem sobre nossa habilidade para fazer extrapolações (Turner & Gardner, 1991). Como o próprio grau de heterogeneidade espacial se altera de acordo com o nível de detalhe, a escolha da escala apropriada para os diferentes fenômenos ecológicos é de extrema importância (Pickett & Candenasso, 1995).

Tradicionalmente, muitos pesquisadores têm assumido que os processos ecológicos afetando populações e comunidades operam em escalas locais (Dunning et al., 1992). No entanto, a variação dos habitats acompanha a variedade de escalas (Wiens, 1989), tornando a problemática da dinâmica espacial uma das fronteiras da ecologia (Kareiva, 1994; Levin 1992). Principalmente porque o tema atual da biodiversidade, no contexto da paisagem, pode unir as pesquisas sobre a dinâmica de populações e os processos ecológicos (Norton & Ulanowicz, 1992; Turner et al., 1995). Talvez o principal problema destes estudos esteja na dificuldade de repetir observações no tempo e no espaço, ao nível da paisagem. Por este motivo, as abordagens quantitativas, através de modelos de análise e simulação, ainda têm grande repercussão (Sklar & Constanza, 1991).

Mais recentemente, o avanço na área de informática e de análises espaciais têm permitido a integração de dados em escalas regionais (Quattrochi & Pelletier, 1991). A evolução destes métodos consolidou importantes meios para a solução de problemas ambientais e tomadas de decisão (Coulson et al., 1991). Com a possibilidade recente de testar os modelos espaciais a partir da utilização de bases de dados georreferenciados, novos caminhos se abrem para a ecologia de paisagens.

O crescente interesse pela dinâmica espacial dos ecossistemas tem potencializado a necessidade de novos métodos quantitativos, capazes de analisar padrões, determinar a importância de processos espaciais e desenvolver modelos sobre as paisagens (Gardner & Turner, 1991). A partir dos recursos da cartografia ecológica (Domon et al., 1989), as feições paisagísticas podem ser descritas em termos do número, diversidade, distribuição, complexidade e dispersão de seus elementos constituintes (Robbins & Bell, 1994). Conseqüentemente, vários índices podem ser utilizados para comparar as diferentes feições das paisagens.

O desenvolvimento e teste destes novos métodos quantitativos de avaliação espacial teve grande impulso com o avanço dos recursos computacionais e os aplicativos do sensoriamento remoto e do geoprocessamento (Flamm & Turner, 1994). Com a aquisição de dados primários sobre diferentes superfícies e repetitividade variando de apenas alguns dias ou horas, muitas possibilidades de aplicação tornaram-se acessíveis (Lillesand & Kiefer, 1996; Szekiolda, 1988). A grande variedade de dados aéreos e orbitais, em distintas resoluções espaciais, temporais e espectrais estimulou a geração de técnicas de processamento digital de imagens (Jensen, 1996; Richards, 1986), para aplicações relacionadas à caracterização e manejo dos recursos naturais (Johannsen & Sanders, 1982).

No entanto, os resultados obtidos a partir da utilização isolada de sistemas de tratamento de imagens não é suficiente, principalmente em estudos envolvendo a análise conjunta de grande número de descritores da paisagem e suas relações espaciais (Myers et al., 1989). Por isso, geralmente a utilização destes dados é integrada a sistemas de informações geográficas (SIG's) (Burrough, 1986; Aronoff, 1989; Star & Estes, 1990).

Qualificado como um potente conjunto de aplicativos para manipulações digitais de atributos espaciais (Burrough, 1986), os sistemas de informação tem armazenado um número sempre crescente de dados geográficos (Jensen, 1996). A nível mundial e particularmente em países desenvolvidos do hemisfério norte (Estados Unidos, Canadá, Inglaterra e França, por exemplo), múltiplas aplicações de SIG's têm sido realizadas em diversos campos do conhecimento (Townshend, 1990; Goodchild & Brusegard, 1989). Eles representam um importante meio para manipulação de dados espaciais (Marble et al., 1983) e um poderoso instrumento para estudos analíticos (Townshend, 1990). Sua versatilidade e operacionalidade para integrar dados cartográficos relativos a variáveis ecológicas deve ser constantemente testada, através da combinação de dimensões temáticas, representadas de forma simples por parâmetros e de forma complexa por cruzamento de parâmetros. Técnicas já consagradas, tais como a geração de modelos numéricos de terrenos (MNT); conversão de escalas, projeções e formatos topológicos; fatiamentos; reclassificações; cruzamentos; ponderações; cálculos de áreas, perímetros e volumes; atualização e expressão cartográfica são outros exemplos de possíveis tratamentos espaciais (Burrough, 1986; Aronoff, 1989; Star & Estes, 1990; Batistella, 1993).

Na ecologia de paisagens, a necessidade de estudo dos processos que ocorrem em diversas escalas temporais e espaciais torna quase obrigatória a utilização de técnicas de geoprocessamento (Turner et al., 1989). Trata-se de uma forma moderna de abordagem dos processos ecológicos, com muitos exemplos já publicados (Turner et al., 1989a; Turner, 1990; Olsen et al., 1993; Flamm & Turner, 1994; Wickham & Norton, 1994).

O desenvolvimento paralelo da ciência da informação geográfica (Goodchild, 1992) e da ecologia de paisagens (Forman & Godron, 1986) abre novos caminhos para a atividade multidisciplinar de modelagem ecológica de dados espaciais (Raper & Livingstone, 1995). Neste sentido, as ferramentas do geoprocessamento tornaram-se tecnologias indispensáveis para o desenvolvimento e teste de procedimentos de análise e síntese da paisagem (Mladenoff & Host, 1994; Burrough & Frank, 1995).

No Brasil, a experiência em geoprocessamento é mais recente. Apesar dos laboratórios instalados em algumas instituições do país, suas aplicações ainda são limitadas, sobretudo no campo da ecologia (Batistella et al., 1993). A reserva de mercado dos anos 80 e a deficiência na formação de pessoal técnico especializado, tanto em ecologia como em geoprocessamento, atrasaram as iniciativas de estudos da paisagem baseados em técnicas de análise espacial. As tendências atuais de evolução deste campo do conhecimento atendem as demandas sócio-econômicas e agroecológicas, baseadas no monitoramento ambiental das paisagens brasileiras. Em particular, a Região Amazônica desperta grande interesse, devido ao processo de desflorestamento e às dinâmicas de ocupação.

O caráter prático desta iniciativa é claro. A hierarquização dos condicionantes mais permanentes da paisagem, representados pelo meio físico (Kilian, 1981) e dos condicionantes dinâmicos, representados principalmente pela vegetação, fauna e atividades humanas (IRAT, 1975), gera subsídios para o planejamento, manejo e monitoramento do espaço agroecológico (Bastedo & Theberge, 1983; Conant et al., 1983).

Elucidar as razões pelas quais a paisagem evolui, tanto no espaço como no tempo, pode auxiliar a tomada de decisões, no sentido de minimizar os efeitos das alterações causadas pelas atividades humanas sobre o meio ambiente (Tricart et al., 1970). A análise crítica desses conceitos e tendências influem diretamente na escolha dos procedimentos metodológicos a serem adotados na abordagem da ecologia das paisagens rurais amazônicas.

4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

A escolha de procedimentos metodológicos em estudos sobre as paisagens rurais na Amazônia é um recente campo de pesquisas. Em termos gerais, a estratégia adotada deve envolver a necessidade de interrogar os processos sócio-econômicos que agem sobre o meio ecológico. Portanto, é de fundamental importância a formulação de hipóteses *a priori* permitam explicar as relações entre a estrutura, função e dinâmica das paisagens estudadas com os processos ecológicos subjacentes, para o nível de percepção proposto. Nesse sentido, o desenvolvimento de pesquisas multidisciplinares depende de métodos que conjuguem a ecologia de paisagens com as modernas técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem espacial.

Mas como discriminar as diferentes unidades de análise que compõem a paisagem? Obviamente, essa hierarquia depende do tipo de consideração a ser feita sobre o mosaico interagente de polígonos que caracterizam um fenômeno na paisagem. A própria definição de paisagem fica relativizada quando sua área total deixa de representar o fator mais importante.

Os ecólogos têm usado diferentes termos para se referirem aos elementos básicos ou unidades de paisagem, incluindo ecótopos, biótopos, geótopos, componentes, células, *facies*, habitat, entre outros (Daget & Godron, 1982; Duranton et al., 1982; Forman & Godron, 1986). Manchas e polígonos também têm sido utilizados para representar áreas discretas (domínio espacial) ou períodos (domínio temporal) de condições ambientais relativamente homogêneas, cujos limites são distintos por descontinuidades no caráter ecológico do fenômeno sob consideração (Wiens, 1976). Portanto, uma paisagem não contém um único mosaico de polígonos, mas uma hierarquia de mosaicos de polígonos, dependente do nível de percepção do estudo.

A fase de obtenção dos dados deve então incluir uma avaliação preliminar da área enfocada, para permitir uma apreciação do provável modo de ação das variáveis ambientais e sócio-econômicas. Nesta fase, análises exploratórias de imagens de satélite ou fotografias aéreas fornecem uma primeira abordagem da heterogeneidade macroecológica existente.

Para armazenar os dados disponíveis, com alguma importância para manipulação ou expressão posteriores, deve ser valorizado o potencial dos sistemas de tratamento de imagens e de processamento de informações geográficas. Estes dados referem-se a variáveis do meio cuja repartição espacial já é conhecida ao início do estudo. A partir dessa avaliação preliminar, são constituídas bases estruturadas segundo a hierarquização dos temas de estudo, definindo pelo menos três categorias temáticas, relacionadas ao meio físico, à vegetação e às influências antrópicas sobre a paisagem.

O enfoque de abordagem, baseado na utilização do geoprocessamento, facilita tanto a identificação dos processos envolvidos ao nível da paisagem, quanto a expressão cartográfica das variáveis que interferem na organização do espaço ecológico. A constituição destas bases de dados tem como meta principal permitir uma versatilidade de procedimentos informatizados, tanto para entrada como para recuperação, manipulação e expressão das informações georreferenciadas.

O processamento digital de informações georreferenciadas constitui atualmente a principal ferramenta para o tratamento dos dados sobre a paisagem. Uma vez que os dados estejam armazenados em bases digitais, a manipulação dos vários planos de informação permite a obtenção de respostas a questões específicas.

geométrica, retificação radiométrica, elaboração de mosaicos, classificação (componentes principais, paralelepípedo, distância mínima e máxima verossimilhança, por exemplo), segmentação e reconhecimento de padrões também são essenciais para permitir análises da paisagem seguindo métodos padronizados (Swain & Davis, 1978, Schowengerdt 1983; Richards, 1986; Jensen, 1996).

4.1. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE MÉTRICAS DE HETEROGENEIDADE ESPACIAL

O desenvolvimento e aplicação de métricas de heterogeneidade espacial no estudo ecológico de paisagens rurais na Amazônia vem de encontro às novas tendências de elaboração de métodos quantitativos, capazes de analisar padrões, determinar a importância de processos espaciais e desenvolver modelos sobre as paisagens (Gardner & Turner, 1991).

Várias métricas podem ser utilizadas para comparar as diferentes feições paisagísticas. A título de exemplo, algumas são citadas a seguir (Robbins & Bell, 1994):

- *Complexidade*: tipicamente uma medida do tamanho e forma dos elementos espaciais da paisagem, este índice é baseado na razão entre o perímetro dos polígonos e sua área. As análises fractais são geralmente utilizadas para sua quantificação (Olsen et al., 1993);
- *Isolamento*: uma medida da distância entre um polígono e seus vizinhos mais próximos (Forman & Godron, 1986);
- *Contiguidade*: uma medida da agregação ou dispersão dos polígonos; é o inverso dos índices de fragmentação (Turner, 1990);
- *Diversidade*: uma medida da proporção da paisagem exibindo um determinado elemento (O'Neill et al., 1988);
- *Dominância*: a proporção de um determinado elemento quando comparado a todos os outros elementos da paisagem (O'Neill et al., 1988);
- *Lacunaridade*: uma medida da heterogeneidade dependente da escala e relativa à quantificação dos padrões da paisagem (Turner et al., 1989).

A utilização das potencialidades do geoprocessamento para testar alguns destes índices e desenvolver novos algoritmos ainda é um campo recente em ecologia. Atualmente, alguns pacotes já são oferecidos na Internet. O Fragstats (<http://www.innovativegis.com/products/fragstatsarc/index.htm>) por exemplo, calcula uma série de métricas, em três diferentes níveis hierárquicos: polígonos, classes e a própria paisagem (McGarigal & Marks, 1995).

Baseado nos três principais níveis hierárquicos da paisagem no espaço geográfico, a Tabela 1 resume alguns índices e métricas recentemente utilizados.

5. PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO

Os aspectos conceituais e metodológicos abordados nos itens anteriores estão relacionados à necessidade de atribuir uma dimensão prática às ações desenvolvidas e aos resultados produzidos pela pesquisa sobre as relações espaciais em ecologia.

No momento em que o país começa a se reafirmar no cenário político internacional, as pressões internas e externas relativas à conservação e monitoramento do meio ambiente tendem a aumentar. Questões como o ordenamento territorial do país, o zoneamento ecológico-econômico da Amazônia e o planejamento do uso das terras em escalas regionais estarão cada vez mais presentes na perspectiva de conciliação entre o desenvolvimento sócio-econômico e a utilização racional dos recursos naturais.

ecossistemas pouco alterados (Amazônia, cerrados, caatinga e remanescentes florestais, por exemplo), a tendência de expansão da fronteira agropecuária continua representando um fenômeno a ser monitorado.

A geração de métodos e conhecimentos nas áreas da ecologia de paisagens e do processamento de informações espaciais é fundamental para o atendimento a estas demandas. Do ponto de vista operacional, o potencial dos dados espaciais gerados nos últimos 20 anos sobre os processos de ocupação da Amazônia permitem análises comparativas, já em andamento em algumas instituições nacionais e estrangeiras.

Um exemplo claro de aplicação é a possível re-utilização dos dados multitemporais produzidos pelo INPE sobre o desmatamento na Amazônia (INPE, 1996). Tomando como base os dados temáticos gerados, novas análises poderiam ser feitas para correlacionar paisagens altamente fragmentadas com o impacto de diferentes sistemas de produção. Iniciativa similar já está em andamento na *Indiana University/ACT*, no âmbito do programa LBA (*Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazonia*), financiado pela NASA.

Tabela 1 – Algumas métricas de quantificação espacial utilizadas em ecologia de paisagens (modif. de McGarigal & Marks, 1995).

Parâmetro		Polígonos	Classes	Paisagens
Identificação	Identificador			
	Tipo			
	Área			
	Área total da paisagem			
	Porcentagem da paisagem			
Perímetro	Perímetro			
Número de polígonos	Maior índice de polígonos			
	Número de polígonos			
	Densidade de polígonos			
Área dos polígonos	Média da área dos polígonos			
	Desvio padrão da área dos polígonos			
	Coeficiente de variação da área dos polígonos			
Bordas	Borda total			
	Densidade de bordas			
	Densidade ponderada de bordas			
	Contraste total de bordas			
	Contraste médio de bordas			
	Contraste médio ponderado de bordas			
Forma	Forma			
	Forma média			

	Forma média			
	Forma média ponderada			
	Log duplo da dimensão fractal			
	Dimensão fractal			
	Dimensão fractal ponderada da média dos polígonos			
Área central	Porcentagem da área central da paisagem			
	Área central total			
	Número de áreas centrais			
	Densidade de áreas centrais			
	Média da área central por polígono			
	Desvio padrão da área central dos polígonos			
	Coefficiente de variação da área central dos polígonos			
	Média da área central descontínua			
	Desvio padrão da área central descontínua			
	Coefficiente de variação da área central descontínua			
	Índice da área central total			
	Índice da área central média			
Vizinhança	Distância do vizinho mais próximo			
	Desvio padrão do vizinho mais próximo			
	Coefficiente de variação do vizinho mais próximo			
	Índice de proximidade			
	Índice de interposição e justaposição			
Diversidade	Diversidade de Shannon			
	Diversidade de Simpson			
	Diversidade de Simpson modificado			
Riqueza	Riqueza de polígonos			
	Densidade da riqueza de polígonos			
	Riqueza relativa de polígonos			
Uniformidade	Uniformidade de Shannon			
	Uniformidade de Simpson			
	Uniformidade de Simpson modificada			
Contágio	Contágio			

Utilizando os conceitos teóricos abordados, o uso de técnicas de geoprocessamento será fundamental para uma análise mais quantitativa das paisagens rurais da Amazônia. A expansão deste campo de pesquisa é recente, mas já traduzida por *homepages* na Internet, disciplinas curriculares em algumas áreas do conhecimento e, principalmente, em iniciativas interdisciplinares em algumas instituições de pesquisa.

6. CONCLUSÕES

As respostas às questões formuladas na introdução deste trabalho nem sempre serão imediatas. O conhecimento das causas e consequências da dinâmica espaço-temporal do uso das terras amazônicas evolui em conjunto com a própria expansão das atividades antrópicas na região, sugerindo intensas ações de pesquisa, relativas ao tema. A ênfase operacional deve ser baseada no esforço de parcerias constituídas por características multidisciplinares e multiinstitucionais.

Nesse momento, o desenvolvimento e aplicação de índices de heterogeneidade espacial em paisagens rurais da Amazônia vêm de encontro às novas tendências de elaboração de métodos quantitativos, capazes de analisar padrões, determinar a importância de processos espaciais e desenvolver modelos sobre a evolução das paisagens.

Não basta apenas diagnosticar o que já ocorreu no passado, através de procedimentos modernos de abordagem, hoje facilitados pelas tecnologias de análise espacial. O apelo mais urgente é a previsão do futuro, a partir da identificação dos processos agroecológicos envolvidos na ocupação da Amazônia.

Uma vez identificados os principais vetores de ocupação existentes e seus impactos ambientais, novas pesquisas podem permitir a simulação de cenários futuros. A partir da interação de pesquisadores em torno destas recentes possibilidades de estudo, o Brasil reunirá melhores condições para conhecer, manejar e monitorar a heterogeneidade espacial das paisagens amazônicas, permitindo abordagens mais objetivas sobre as urgentes decisões de planejamento de seus recursos regionais.

7. BIBLIOGRAFIA

Allen, T. F. H.; Starr, T. B. *Hierarchy: perspectives for ecological complexity* Chicago : University of Chicago Press, 1982.

Amandier, L. *Bases phyto-écologiques pour l'aménagement du paysage du Massif des Albères*. Montpellier: CEPE-CNRS, 1973. 144p.

Aronoff, S. *Geographic information systems a management perspective*. Ottawa : WDL, 1989. 295p.

Bastedo, J.D.; Theberge, J.B. An appraisal of interdisciplinary resource surveys (ecological land classifications) *Landscape Planning* Amsterdam, n.10, p.317-34, 1983.

Batistella, M. *Cartografia ecológica do Arquipélago de Fernando de Noronha* São Paulo : IBUSP, 1993. 232p. (Dissertação de Mestrado em Ecologia).

Batistella, M.; Miranda, J.R.; Miranda, E.E. de. Banco de dados geocodificados com base municipal para a Região Nordeste do Brasil. In: CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 4;

São Paulo : EPUSP, 1993. p.87-102.

Bertrand, G. Paysage et géographie physique globale; Esquisse méthodologique. Revue Géographique des Pyrénées v.39, p.249-72, 1968.

Burrough, P.A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford : University Press, 1986. 191p.

Burrough, P. A.; Frank, A. U. Concepts and paradigms in spatial information: are current geographical information systems truly generic? International Journal on Geographical Informations Systems London, v.9, n.2, p.101-16, 1995.

Conant, F.; Rogers, P.; Baumgardner, M.; Mckell, C.; Dasmann, R.; Reining, P. Resource inventory and baseline study methods for developing countries Washington : AAAS, 1983. 539p.

Coulson, R. N.; Lovelady, C. N.; Flamm, R. O.; Spradling, S. L.; Saunders, M. C. Intelligent geographic information systems for natural resource management: Turner, M. G.; Gardner, R. H. Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity. New York : Springer-Verlag, 1991. p.153-72.

Daget, P.; Godron, M. Analyse fréquentielle de l'écologie des espèces dans les communautés Paris : Masson, 1982. 163p.

Domon, G.; Gariépy, M.; Bouchard, A. Ecological cartography and land-use planning: trends and perspectives. Geoforum, Great Britain, v.20, n.1, p.69-82, 1989.

Dunning, J.B.; Danielson, B.J.; Pulliam, H.R. Ecological process that affect populations in complex landscapes. Oikos, v.65, n.1, p.169-75, 1992.

Duranton, J.F.; Launois, M.A.; Launois-Luong, M.H.; Lecoq, M. Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche Paris : GERDAT, 1982. 1487p. il.

Flamm, R. O.; Turner, M. G. Alternative model formulations for a stochastic simulation of landscape change. Landscape Ecology, Amsterdam, v.9, n.1, p.37-46, 1994.

Forman, R.T.T.; Godron, M. Landscape ecology, New York : John Wiley and Sons, 1986. 619p.

Forman, R.T.T.; Godron, M. Patches and structural components for a landscape ecology. Bioscience, Washington, p.733-40, Nov. 1981.

Gardner, R. H.; Turner, M. G. Future directions in quantitative landscape ecology: Turner, M. G.; Gardner, R. H. Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity. New York : Springer-Verlag, 1991. p.519-26.

Godron, M. Écologie de la végétation terrestre. Paris : Masson, 1984. 192p.

Godron, M.; Long, G.; Le Floc'h, E.; Poissonet, J.; Sauvage, C.; Wacquart, J. Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu Paris : CNRS, 1968. 292p. il.

Goodchild, M. F. Geographical information science International Journal on Geographical Informations Systems London, v.6, n.1, p.31-45, 1992.

Goodchild, M. F.; Brusegard, D. Spatial analysis using GIS Seminar Workbook. New Orleans : NCGIA, 1989. 63p. (NCGIA Technical Papers, s/n).

Goodland, R.J.A.; Daly, H.E.; Serafy, S. The urgent need for rapid transition to global environmental sustainability *Environmental Conservation*, v.20, n.4, p.297-309, 1993.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto PRODES. São José dos Campos : INPE, 1996. CD-ROM demonstrativo.

IRAT - Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières. Terres et cartes Paris : IRAT, 1975. 15p.

Jensen, J.R. Introductory digital image processing a remote sensing perspective. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1996. 379p.

Johannsen, C. J.; Sanders, J. L. (eds.) Remote sensing for resource management Ankeny : Soil Conservation Society of America, 1982. 665p.

Jurdant, M.; Bélair, J.L.; Gerardin, V.; Ducruc, J. L'inventaire du capital-nature méthode de classification et cartographie écologique du territoire (3ème approximation). Quebec : Thorn Press, 1977. 202p. il.

Kareiva, P. Space: the final frontier for ecological theory *Ecology*, v.75, n.1, 1994.

Kilian, J. L'évaluation de la stabilité et de l'instabilité du milieu dans la cartographie morphopédologique à but d'aménagement Bern : Université de Bern-Institute de Géographie, 1981. 10p.

Leser, H.; Rodd, H. Landscape ecology - fundamentals, aims and perspectives. In: Esser, G.; Overdieck, D. Modern ecology, Amsterdam : Elsevier, 1991. p.831-44.

Levin, S. A. The problem of pattern and scale in ecology *Ecology*, v.73, p.1943-83, 1992.

Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. Remote sensing and image interpretation New York : J. Wiley, 1996. 721p.

Long, G. Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire. Paris : Masson, 1974. t.1. 252p. il.

Marble, D.F.; Peuquet, D.J.; Boyle, A.R.; Bryant, H.W.; Calkins, H.W.; Johnson T.; Zobrist, A. Geographic Information Systems and Remote Sensing. In: Colwell, R. The manual of remote sensing Falls Church : ASPRS, v.1, n.22, 1983. p.923-58.

McGarigal, K.; Marks, B. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 122p.

Meentemeyer, V.; Box, E. O. Scale effects in landscape studies In: Turner, M. G. (ed.). Landscape heterogeneity and disturbance. New York : Springer-Verlag, 1987. p.15-34.

Miranda, E. E. de.; Setzer, A. W.; Takeda, A. M. Monitoramento orbital de queimadas no Brasil. Campinas : Ecoforça, 1994. 149p.

Mladenoff, D. J.; Host, G. E. Ecological perspective: current and potential applications

- Myers, W.L.; Evans, B.M.; Baumer, G.M.; Heivly, D. Synergism between human interpretation and digital pattern recognition in preparation of thematic maps. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* Amsterdam, v.44, p.85-96, 1989.
- Naveh, Z. Landscape ecology as an emerging branch of human ecosystem science. *Advances in Ecological Research* v.12, p.189-237, 1982.
- Naveh, Z.; Lieberman, A. *Landscape Ecology. theory and application*. New York : Springer-Verlag, 1984.
- Neef, E. Einige grundfragen der landschaftsforschung. *WissenschaftsZeitschrift der Universitat Leipzig, Math.-naturwissenschaftl. Reihe*, v.5, p.531-41, 1956.
- Norton, B.G.; Ulanowicz, R.E. Scale and biodiversity policy: a hierarchical approach. *Ambio*, v.1, n.3, p.244-9, 1992.
- Olsen, E. R.; Ramsey, R. D.; Winn, D. S. A modified fractal dimension as a measure of landscape diversity. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* v.59, n.10, p.1517-20, 1993.
- O'Neill, R. V.; Krummel, J. R.; Gardner, R. H.; Sugihara, G.; Jackson, B.; Deangelis, D. L.; Milne, B. T.; Turner, M. G.; Zygmunt, B.; Christensen, S. W.; Dale, V. H.; Graham, R. L. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, Amsterdam, v.1, n.3, p.153-62, 1988.
- Pickett, S. T. A.; Cadenasso, M. L. Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems. *Science*, v.269, p.331-4, 1995.
- Quattrochi, D. A.; Pelletier, R. E. Remote sensing for analysis of landscapes: an introduction In: Turner, M. G.; Gardner, R. H. *Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity*. New York : Springer-Verlag, 1991. p.51-76.
- Raper, J.; Livingstone, D. Development of a geomorphological spatial model using object-oriented design. *International Journal on Geographical Informations Systems* London, v.9, n.4, p.359-83, 1995.
- Richards, J. A. *Remote sensing digital image analysis an introduction*. Berlin : Springer-Verlag, 1986. 281p.
- Robbins, B. D.; Bell, S. S. Seagrass landscapes: a terrestrial approach to the marine subtidal environment. *Tree*, v.9, n.8, p.301-4, 1994.
- Schmithusen, J. *Vegetationsforschung und okologische Standortslehre in ihrer Bedeutung fur die Geographie der Kulturlandschaft*. *Zeitschrift der Gesellschaft fur Erdkunde zu Berlin* p.113-57, 1942.
- Schowengerdt, R.A. *Techniques for image processing and classification in remote sensing*. Orlando: Academic Press, 1983. 249p.
- Sklar, F. H.; Costanza, R. *The development of dynamic spatial models for landscape*

in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity. New York : Springer-Verlag, 1991. p.239-88.

Skole, D.; Tucker, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. *Science*, 1993.

Star, J.; Estes, J. Geographic information systems an introduction. Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1990. 303p.

Swain, P.H., Davis, S.M. Remote sensing: the quantitative approach. New York: McGraw-Hill, 1978. 395p.

Szekiela, K.H. Satellite monitoring of the earth New York : John Willey & Sons, 1988. 326p.

Townshend, J. Geoprocessing technologies for environmental analysis planning and monitoring. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 1990, São Paulo Anais... São Paulo : EPUSP, 1990. p.109-17.

Tricart, J.; Lutz, G.; Rimbart, S. Introduction à l'utilisation des photographies aériennes en géographie, géologie, écologie, aménagement du territoire. Paris : SEDES, 1970. 274p.

Troll, C. Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, p.241-98, 1939.

Turner, M. G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology*, Amsterdam, v.4, n.1, p.21-30, 1990.

Turner, M. G.; Dale, V. H.; Gardner, R. H. Predicting across scales: theory development and testing. *Landscape Ecology*, Amsterdam, v.3, n.3/4, p.245-52, 1989.

Turner, M. G.; Gardner, R. H. Quantitative methods in landscape ecology an introduction. In: Turner, M. G.; Gardner, R. H. Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity. New York : Springer-Verlag, 1991. p.3-14.

Turner, M. G.; Gardner, R. H.; O'Neill, R. V. Ecological dynamics at broad scales; ecosystems and landscapes. *Bioscience Supplement*, p.29-33, 1995.

Turner, M. G.; O'Neill, R. V.; Gardner, R. H.; Milne, B. T. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology*, Amsterdam, v.3, n.3/4, p.153-62, 1989a.

Turner, M.G. Landscape ecology: the effect of pattern on processes. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, v.20, p.171-97, 1989.

Wickham, J. D.; Norton, D. J. Mapping and analyzing landscape patterns. *Landscape Ecology*, Amsterdam, v.9, n.1, p.7-23, 1994.

Wiens, J. A. Population response to patchy environments. *Annual Review of Ecological Systems*, v.7, p.81-129, 1976.

