

## Estrutura e dinâmica da paisagem de duas bacias hidrográficas do nordeste do Pará

Pedro Gerhard <sup>1</sup>  
Orlando dos Santos Watrin <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Amazônia Oriental - CPATU  
Caixa Postal 48 - 66095-100 - Belém - PA, Brasil  
{pedro.gerhard, orlando.watrin}@embrapa.br

**Abstract:** The northeastern region of Pará State presents itself as one of the oldest settlement areas in the Brazilian Amazon, considering the period after Portuguese colonization. Our study is focused on two small watersheds presenting distinct routes and distinct development moments, linked to different historic contexts. Thus, aiming at thoroughly describing landscape structure and dynamics of these two landscape units, we performed a series of analysis based on Landsat TM imagery from 1999, 2004 and 2008. The results mirror the distinct development routes in which both watershed have been developed. Marked differences in landscape composition, configuration and land use dynamics were observed. However, a common finding is perceived: reduction of native forest remnants area, number of patches and patch metrics revealing patch conservation condition. The results point at urgent measures to be taken in order to conserve this fragments.

**Palavras-chave:** landscape structure, landscape dynamics, watersheds, dinâmica e estrutura de paisagem, bacias hidrográficas.

### 1. Introdução

A mesorregião do Nordeste Paraense constitui uma das mais antigas áreas de colonização da Amazônia, sendo a paisagem atual caracterizada por um alto grau de antropização, fruto dos processos de ocupação e das atividades produtivas que se firmaram ao longo do tempo de forma desordenada (Metzger, 2002; Watrin et al., 2009). Estes aspectos podem ser observados nas bacias dos igarapés Timboteua/Buiuna e Peripindeua, que apresentam dinâmicas de uso e ocupação da paisagem relativamente distintas. No primeiro caso, isso se deve à influência que a estrada de ferro Belém-Bragança, do final do século XIX, exerceu sobre a região, e à sua consequente ocupação por pequenos produtores rurais, cuja maioria tem hoje como sustentáculo econômico a pequena agricultura. Por sua vez, o processo de ocupação da mesobacia do igarapé Peripindeua está muito ligado à consolidação da rodovia BR-010 (Belém-Brasília), no final da década de 60, apresentando ocupação mais recente; a paisagem é dominada por pequenos e médios latifúndios baseados em atividades pecuárias.

Na avaliação espacial de tal problemática, os estudos ambientais revestem-se de grande importância, pois podem auxiliar no real entendimento dos processos ligados à dinâmica do uso da terra em recortes ambientais específicos da paisagem a ser estudada (Watrin et al., 2009). A análise de características estruturais das paisagens revela padrões e processos de diversas naturezas; é possível derivar interpretações coerentes sobre os efeitos antrópicos através de uma série de ecossistemas constituintes do espaço em estudo (Lang e Blaschke, 2009).

Dentre estes trabalhos, as técnicas e os produtos de sensoriamento remoto e geoprocessamento constituem importantes ferramentas que podem auxiliar, entre outros aspectos, na tomada de decisão para a gestão territorial e implementação de políticas públicas. Assim, a partir destes produtos e técnicas, foi delineado este estudo, visando quantificar dinâmica do uso e aspectos da estrutura (composição e configuração) de duas paisagens agrícolas do Nordeste do Pará, com histórico de ocupação diferenciados, em três datas distintas. Os limites de cada unidade de paisagem foram definidos como os próprios limites das bacias hidrográficas, dados por seus divisores topográficos.

### 2. Material e métodos de trabalho

## 2.1. Área de estudo

As áreas de estudo referem-se às mesobacias dos igarapés Timboteua/Buiuna (cerca de 8.756 ha) e Peripindeua (19.321 ha) localizadas, respectivamente, nos municípios de Marapanim, Igarapé-Açu e Maracanã, e nos municípios de Mãe do Rio e Irituia, mesorregião do Nordeste Paraense (Figura 1).

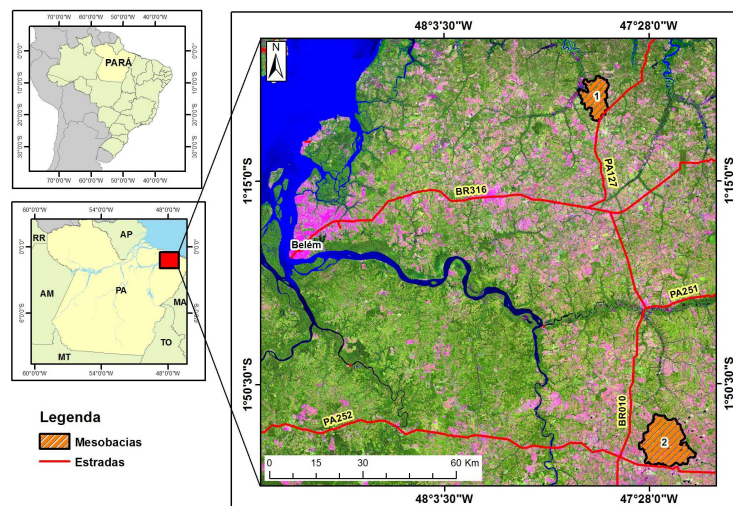


Figura 1. Mapa de Localização das Áreas de Estudo

## 2.2 Tratamento e análise dos dados geográficos

O tratamento e a análise dos dados e informações georreferenciadas tiveram o suporte dos programas ArcGIS 9.3 (ESRI, 2010) e SPRING 5.1.3 (INPE/ DPI, 2010). Como base cartográfica foram utilizadas base de imagens Landsat compactadas georreferenciadas com alta precisão (MrSID) e base planialtimétrica digital do IBGE, na escala de 1:100.000, considerando o sistema de projeção WGS 1984. Os limites das mesobacias foram delineados a partir de dados georreferenciados do relevo, derivados de produtos SRTM (DTED 90 m). Para o mapeamento dos padrões de cobertura vegetal e uso da terra, foram utilizadas imagens Landsat, órbita/ponto 223/61, bandas TM 3, 4 e 5, referentes aos anos de 1999, 2004 e 2008.

Com o apoio do trabalho de campo, as imagens TM/Landsat já georreferenciadas foram submetidas ao processo de classificação supervisionada por regiões (algoritmo Bhattacharya), como descrito em Watrin et al. (2009), considerando os limiares de segmentação para similaridade e área de 6 e 10, respectivamente. Assim, foram gerados como produtos finais três imagens temáticas referentes às datas consideradas. De posse destes produtos, foram então realizadas as quantificações de área das classes de interesse para cada um dos anos envolvidos neste estudo.

A etapa referente à análise da dinâmica da paisagem nos períodos considerados, foi conduzida por meio de tabulação cruzada entre imagens temáticas de datas consecutivas, ou seja, de 1999 para 2004 e de 2004 para 2008. A partir da inspeção de matrizes de mudanças, foi verificado o correspondente percentual em área de uma classe que foi convertida em outra, durante os períodos de tempo analisados.

Todas as análises de composição e configuração da paisagem foram conduzidas dentro do ambiente do ArcView 3.3 (ESRI, 2000), empregando a ferramenta Patch Analyst 2.2 (Elkie et al., 1999). Cada unidade de paisagem foi analisada em cada um dos anos citados. Foram quantificadas métricas para a paisagem e métricas para cada uma das manchas dos distintos elementos da paisagem (os termos empregados seguem a proposição de Metzger, 2001). Análises posteriores e geração de gráficos foram produzidas no aplicativo Calc do BrOffice, versão 3.3.3. Destaques foram dados ao elemento “Floresta antropizada”.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Quantificação das classes de uso e cobertura da terra

Na Tabela 1 é apresentada a quantificação de áreas em hectares e as respectivas taxas de variação anuais definidas para as classes de uso e cobertura da terra nas áreas de estudo.

Tabela 1. Quantificação de áreas e respectivas taxas de variação anuais definidas para as classes de uso e cobertura da terra nas mesobacias dos igarapés Timboteua/Buiuna e Peripindeua, Nordeste Paraense, em 1999, 2004 e 2008.

Unidade de Mapeamento	1999		2004		2008		1999/04	2004/08	
	Área		Área		Área		Variação (%)	Variação (%)	
	ha	%	ha	%	ha	%			
Igarapé Timboteua/Buiuna	Floresta Antropizada	1.092,15	12,47	885,51	10,11	605,45	6,92	-2,36	-3,19
	Capoeira Alta	2.683,62	30,65	2.296,62	26,23	1.803,26	20,62	-4,42	-5,61
	Capoeira Baixa	2.822,85	32,24	2.473,65	28,25	3.302,41	37,75	-4,19	9,50
	Campos Aluviais	117,36	1,34	61,11	0,71	191,90	2,19	-0,63	1,48
	Solo Sob Preparo	38,70	0,44	257,76	2,94	136,24	1,56	2,50	-1,38
	Pasto Limpo	1.282,77	14,65	1.699,11	19,4	1.259,21	14,4	4,75	-5,00
	Pasto Sujo	471,78	5,39	804,60	9,19	1.357,80	15,52	3,80	6,33
	Cultura Agrícola	82,35	0,94	126,00	1,44	41,41	0,47	0,50	-0,97
	Corpos d'água	83,25	0,95	151,92	1,73	58,61	0,57	0,78	-1,16
	Nuvem/ Sombra	81,45	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,93	0,00
	<b>Total</b>	<b>8.756,28</b>	<b>100%</b>	<b>8.756,28</b>	<b>100%</b>	<b>8.756,28</b>	<b>100%</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
Igarapé Peripindeua	Floresta Antropizada	1.233,90	6,39	787,23	4,07	464,09	2,4	-2,32	-1,67
	Capoeira Alta	2.001,51	10,36	1.340,28	6,94	1.066,23	5,52	-3,42	-1,42
	Capoeira Baixa	6.476,58	33,52	5.147,91	26,64	6.047,03	31,3	-6,88	4,66
	Solo Sob Preparo	251,01	1,3	248,04	1,28	486,41	2,52	-0,02	1,24
	Cultura Agrícola	68,58	0,35	42,21	0,22	32,99	0,17	-0,13	-0,05
	Pasto Limpo	2.985,66	15,45	4.623,48	23,93	2.977,89	15,41	8,48	-8,52
	Pasto Sujo	6.275,70	32,48	6.997,32	36,21	8.075,86	41,8	3,73	5,59
	Corpos d'água	28,71	0,15	11,97	0,07	25,30	0,13	-0,08	0,06
	Nuvem/ Sombra	0,00	0,00	123,21	0,64	145,85	0,75	0,64	0,11
<b>Total</b>	<b>19.321,65</b>	<b>100%</b>	<b>19.321,65</b>	<b>100%</b>	<b>19.321,65</b>	<b>100%</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	

Em ambas as áreas de estudo, percebe-se maior relevância das áreas de vegetação secundária, sendo particularmente dominante na mesobacia do igarapé Timboteua/Buiuna, com registros que chegam a mais de 62% da área total. Capoeira Baixa predomina em todos os anos analisados, com uma tendência de avanço destas áreas em relação às de Capoeira Alta, em ambas as mesobacias. Em contraste, as áreas de Floresta Antropizada, concentradas em grande parte na zona ripária, ocupam uma parcela modesta da área total. Nas áreas de estudo, foi também observada uma redução gradual em área desta formação, tal como verificado em outras áreas do Nordeste Paraense por Metzger (2002) e Watrin et al. (2009), que destacaram a vulnerabilidade desses remanescentes florestais, face sua fragmentação e inserção na paisagem local. Ainda em âmbito das classes de cobertura vegetal, cita-se a presença dos Campos Aluviais, restrita à mesobacia do igarapé Timboteua/Buiuna.

As áreas de pastagens tem destaque, principalmente na mesobacia do Peripindeua. A classe Pasto Limpo só foi mais representativa que Pasto Sujo para a mesobacia do Timboteua/Buiuna, dando indícios do baixo nível tecnológico de grande parte dos sistemas agropecuários utilizados, principalmente na mesobacia do Peripindeua. Por fim, as demais classes de uso da terra ocupam áreas relativamente modestas nas áreas de estudo, sendo mais relevantes as relativas a Solo sob Preparo. Como as áreas de estudo estão sob influência da pequena agricultura, os baixos valores máximos para a classe Cultura Agrícola refletem esta realidade.

### **3.2 Dinâmica das classes de uso e cobertura da terra**

Verificou-se que as classes ligadas à cobertura vegetal apresentaram sempre as maiores taxas de estabilidade e dentre essas classes, os maiores valores foram observados para Floresta Antropizada. Foram observadas perdas líquidas dessa formação, sobretudo para o segundo período de análise, com conversões para outros usos, principalmente Capoeira Alta. Tal comportamento indica que tais remanescentes florestais vem sofrendo mudanças na sua estrutura devido à atividades antrópicas predatórias, como exploração madeireira e fogo acidental, como também verificado por Watrin et al. (2009) em outras áreas do Nordeste Paraense.

Áreas de capoeira baixa são a base de pousio de pequenas propriedades rurais, apresentando, em geral, menores valores de estabilidade do que os observados para a classe Capoeira Alta, em virtude de sua maior dominância na paisagem das áreas de estudo. Neste estudo, as maiores taxas de conversão observadas para essas classes ocorreram entre si. Por sua vez, as conversões dessas classes para o sistema produtivo foram mais modestas, sendo os valores mais expressivos observados de Capoeira Baixa para Pasto Limpo, principalmente no primeiro período de análise (1999/2004).

As classes de uso da terra apresentaram taxas de estabilidade mais baixas nos períodos analisados, pois estão associadas diretamente ao arranjo produtivo desenvolvido nas áreas de estudo. Dentre as classes menos estáveis enquadra-se Solo sob Preparo, que traduz um momento de transição do uso da terra. Houve uma tendência das áreas de Solo sob Preparo serem convertidas preferencialmente para pastagem cultivada. Comportamento semelhante também foi apresentado pela classe Cultura Agrícola, cujas taxas de estabilidade igualmente baixas, foram dignas de nota apenas para o caso do igarapé Timboteua/Buiuna. As maiores conversões dessa classe ocorreram sobretudo para Capoeira Baixa, mas igualmente foram expressivas as taxas observadas para pastagem cultivada, principalmente no caso do igarapé Peripindeua, onde o fenômeno de pecuarização da paisagem é mais pronunciado.

Pasto Limpo foi a classe mais estável. Quando as áreas correspondentes a essa classe não permaneceram estáveis, foram convertidas preferencialmente para Pasto Sujo. Por sua vez, as áreas rotuladas como Pasto Sujo apresentaram taxas de estabilidade mais baixas. Apesar das conversões mais expressivas dessa classe terem ocorrido para Capoeira Baixa, foram também relevantes as mudanças observadas para o padrão definido para a classe Pasto Limpo.

### **3.3 Análise da estrutura da paisagem como unidade**

A Figura 2 apresenta gráficos de métricas de paisagem selecionadas, agrupadas por sua categoria, de forma a ilustrar seu comportamento nas três datas estudadas.

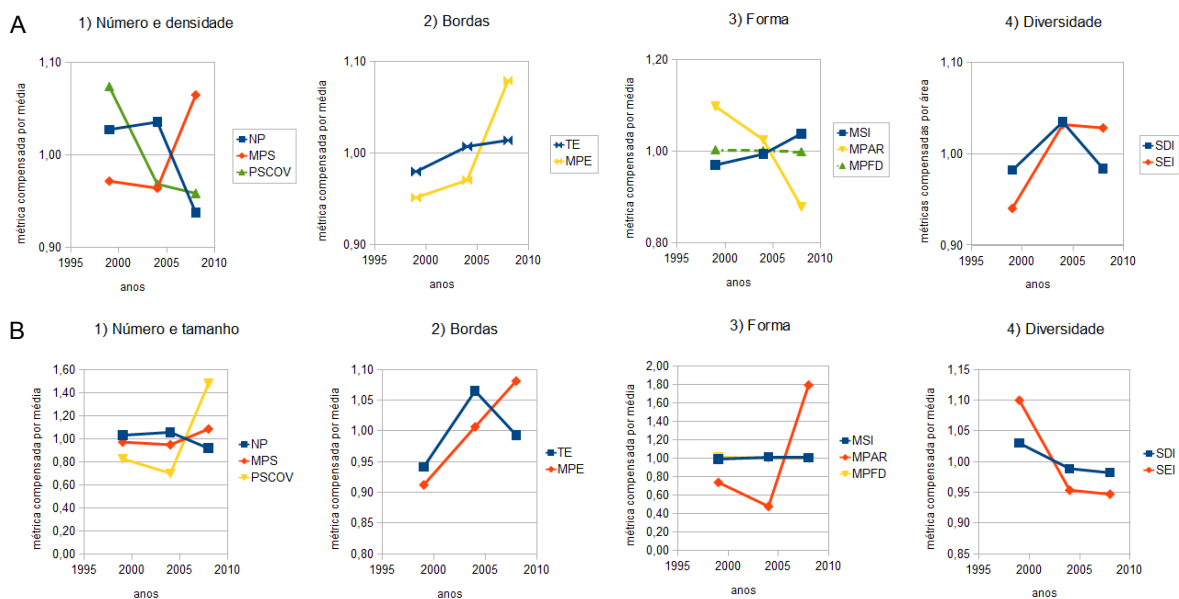


Figura 2. Comportamento de uma seleção de métricas da paisagem das mesobacias dos Igarapé Timboteua/Buiuna (A) e Peripindeua (B), a partir de mapas de uso e cobertura do solo derivados de imagens do satélite Landsat; anos 1999, 2004 e 2008.

Na Área 1 houve redução no número, mas aumento no tamanho médio de manchas, que passam a apresentar menor variação em tamanho (NP, MPS e PSCOV, Figura 2.1A); incremento líquido no total de bordas e no tamanho médio de bordas por mancha (TE e MPE, Figura 2.2A), redução significativo na relação perímetro / área das manchas (MPAR, Figura 2.3A) ao passo que as manchas progrediram para tamanho mais circular e complexidade fractal similar ao longo do processo (MSI, MPFD, idem); e relativa estabilidade na diversidade, com aumento da equitatividade geral da paisagem (SDI e SEI, Figura 2.4A). Na Área 2, por outro lado, os processos são diversos: as manchas dos distintos elementos da paisagem reduziram ligeiramente (NP, Figura 2.1B), aumentaram em tamanho médio (MPS, idem) e tornaram-se, grosso modo, mais similares em tamanho (PSCOV, idem). Porém, houve incremento irregular na quantidade total de bordas (TE, Figura 2.2B), mas aumento gradual no tamanho médio de bordas por mancha (MPE, idem). As manchas desta paisagem também tornaram-se menos arredondadas (MSI, Figura 2.3B), com grande incremento de área em relação ao perímetro (MPAR, idem), mas mantendo complexidade fractal similar (MPFD, idem). Quanto à diversidade total e a equitatividade total na paisagem, houve perda significativa (SDI e SEI, Figura 2.4B).

Na Área 1 ocorre um processo de mudança na configuração da paisagem, com alguma simplificação, provavelmente devido ao incremento de áreas de uso direto (pastagens, áreas agrícolas, solo sob preparo). Estas áreas, muitas vezes com extensão relativamente reduzida, avançam sobre as feições florestais, como fragmentos de floresta antropizada ou áreas de capoeiras antigas, adicionando complexidade (bordas) à paisagem, com manchas (roças e pastagens) mais circulares, ainda que com baixo impacto na complexidade fractal do sistema (isto é, a similaridade de formas entre escalas é mantida). Porém, diversidade e equitatividade são bastante dinâmicas e, provavelmente revelam a própria dinâmica do sistema de uso e pousio da terra, dominante nesta área. Ainda que a diversidade tenha se mantido, o avanço de áreas de pastagem, capoeiras jovens e pasto limpo elevam a equitatividade, provavelmente em detrimento da redução da dominância de áreas de floresta e capoeiras antigas.

Na Área 2 observa-se um processo de intensificação de uso da paisagem: número de manchas é reduzido, mas seu tamanho médio aumenta, com elevado incremento na variação

de área das distintas manchas. Há incremento de bordas total elevado, mas dinâmico. Isto pode representar momentos de avanço sobre elementos florestais (floresta antropizada e capoeira alta) que, com a consolidação de áreas de produção, tornam-se mais regulares. Individualmente, porém, as manchas são mais irregulares, mas por efeito da forma de novas manchas: maiores e mais alongadas. A diversidade total da paisagem, bem como equitatividade, sofreu grande redução. Isto é resultado do avanço de áreas de uso direto sobre áreas de biomassa arbórea mas significativo. É provável que o monitoramento deste processo revele que a diversidade, juntamente com equitatividade, será mais reduzida caso o processo de intensificação continue.

### 3.4 Análise das manchas dos elementos das paisagens

A Figura 3 mostra o comportamento de duas métricas calculadas para as manchas (unidades de cada um dos elementos da paisagem): número de manchas por elemento da paisagem e área média das manchas de cada elemento.

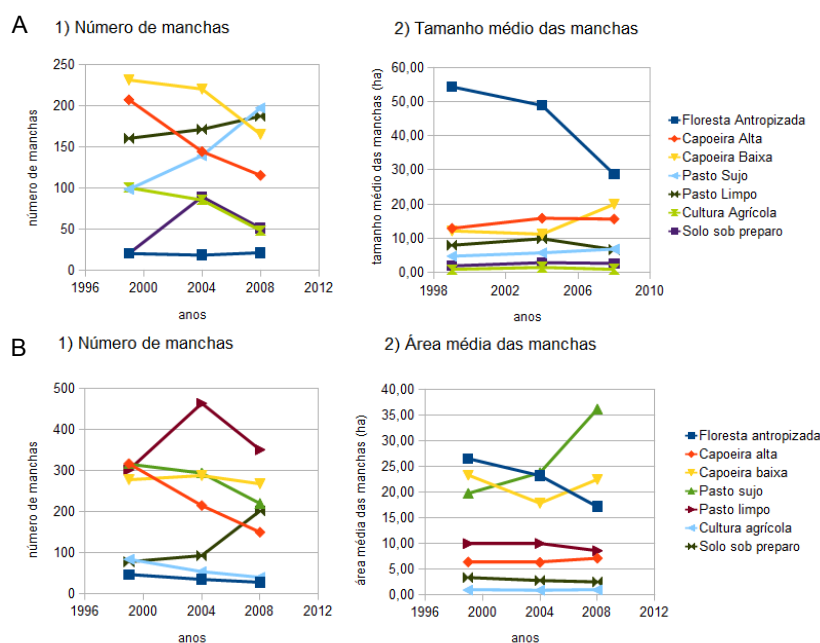


Figura 3. Número de manchas e tamanho médio das manchas da paisagem da Mesobacia do Igarapé Timboteua/Buiuna (A) e Peripindeua (B), calculadas a partir de mapas de uso e cobertura do solo derivados de imagens do satélite Landsat; anos 1999, 2004 e 2008.

Nota-se, na Área 1, redução do número de manchas de capoeira baixa, alta e de cultura agrícola, ao passo que as áreas de pasto limpo e sujo mostram incremento. Floresta antropizada e áreas de solo sob preparo mantiveram-se relativamente inalteradas (Figura 3.1A). Na Figura 3.2A pode-se observar elevado decréscimo em área média de florestas antropizadas, aumento de área média de capoeiras baixa e alto e de pasto sujo. Na figura 3.1B, observa-se incremento de número de manchas de solo sob preparo e pasto limpo (ao final do processo considerado). Todos demais elementos perdem manchas. Porém, na Figura 3.2B, nota-se elevado aumento na área média das manchas de pasto sujo, concomitante ao decréscimo da área média dos fragmentos florestais. As duas métricas permitem reforçar os processos descritos na seção anterior. Porém a dinâmica entre pasto sujo e pasto limpo é intensa e pode incluir paralelamente outros elementos, como áreas de solo sob preparo, cultura agrícola e capoeiras baixas.

### 3.5 Análise dos fragmentos de Floresta Antropizada

Na Figura 4 observa-se o comportamento dos fragmentos de floresta antropizada nas áreas 1 e 2 de estudo ao longo dos anos estudados.

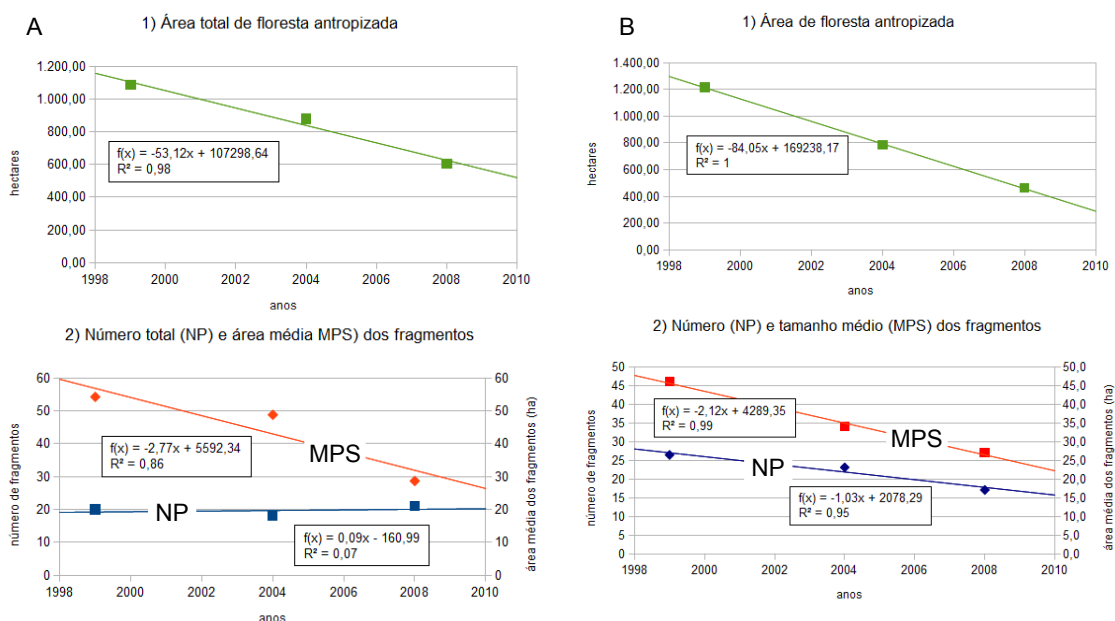


Figura 4. Área total de fragmentos de floresta antropizada (1) e número e tamanho de fragmentos (2) na Mesobacia dos Igarapés Timboteua/Buiuna (A) e Peripindeua (B).

A figura 4 avalia aspectos como área total dos fragmentos, número de fragmentos e área média dos fragmentos. Para cada métrica e cada área de estudo, foi ajustada uma reta através de um modelo de regressão linear simples. A equação obtida e o valor do coeficiente de determinação  $R^2$  são apresentados junto a cada figura. Como observado em diversos estudos anteriores (v. Watrin et al., 2009), este elemento da paisagem vem gradativamente sendo suprimido ao longo dos anos, em diversas áreas do Nordeste Paraense. A maior parte dos fragmentos remanescentes estão dispostos ao longo de redes fluviais, constituindo uma vegetação florestal complexa, com manchas de floresta de terra firme e igapó, e transição entre estas formações. Portanto, tratam-se, em grande parte, de formações florestais em áreas de preservação permanente, que devem ser preservadas segundo instruções do Código Florestal Brasileiro. Porém, observa-se a supressão dessas áreas. Não apenas a área total deste elemento foi reduzida ao longo das datas consideradas (Figuras 4.1A e 4.1B), mas também o número de fragmentos e área média dos fragmentos (Figuras 4.2A e 4.2B) diminuíram ao longo do período considerado. Exceção é o caso do número de fragmentos na Área 1. Ainda que a análise de regressão baseada em três pontos não seja um teste rigoroso das tendências observadas, as relações são bem determinadas para quase todas métricas avaliadas, permitindo previsões alarmantes sobre o destino destes remanescentes florestais.

### 4. Conclusões

As paisagens das áreas de estudo são relativamente distintas: na Área 1 predomina vegetação secundária, na Área 2 são mais relevante as pastagens. Foi também observado nas mesobacias estudadas uma maior relevância das áreas de Capoeira Baixa quando comparadas as de Capoeira Alta. Quanto às áreas produtivas, as áreas de pastagem são mais expressivas que as áreas agrícolas, apesar da importância econômica local dessas últimas. A Área 1, apesar de menos dinâmica, vem sofrendo com a perda de fragmentos florestais, mas

especialmente áreas de capoeira alta, ao passo que pastagens e capoeiras jovens avançam. O processo de intensificação revela mais fragmentação e ligeira elevação da complexidade na configuração, mas com perda de diversidade total. A dinâmica das métricas revela intensificação do sistema de uso-pousio sobre com impacto maior em áreas de capoeira alta. Na Área 2, o processo de antropização é mais dinâmico, claramente um processo de intensificação do uso do espaço. Aqui os pastos avançam mais rapidamente, além de áreas de solo exposto (áreas em preparo para pastagem?), especialmente sobre fragmentos florestais, e em segundo lugar, capoeiras baixas. O processo de intensificação revela simplificação estrutural, com aumento de manchas totais, mais fragmentação em relação ao número de bordas, e perda de diversidade total. A dinâmica das métricas revela intensificação do sistemas de pecuária sobre áreas de floresta e vegetação secundária. Em relação aos fragmentos florestais remanescentes, em ambas as áreas o prognóstico é ruim, merecendo estudos, políticas e intervenções para garantir sua manutenção.

### **Agradecimentos**

Este estudo foi financiado pelo CNPq, processo 574.648/2008-9 e Embrapa Tesouro, processo 02.07.06.017.00.01.

### **Referências Bibliográficas**

- ELKIE, P.C.; REMPEL, R.S.; CARR, A.P. Patch Analyst user's manual: a tool for quantifying landscape struture (NWST Technical Manual TM-002). Thunder Bay, Ontario: Ontario Ministry of Natural Resources. **Northwest Science & Technology**, Feb. 1999. 22 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS; DIVISÃO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS (INPE/ DPI). **Spring: Sistema de processamento de informações georreferenciadas**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em: jan. 2010.
- Lang, S.; Blaschke, T. **Análise da paisagem com SIG**. Editora Oficina dos Textos, São Paulo. 2009. 424p.
- MERTENS, B.; POCCARD-CHAPUIS, R.; PIKETTY, M.-G.; LACQUES, A.-E.; VENTURIERI, A. Crossing spatial analysis and livestock economics to understand deforestation process in the Brazilian Amazonia: the case of São Félix do Xingu in south Pará. **Agricultural Economics**. v. 27, p. 269-294.
- METZGER, J.P. Landscape dynamics and equilibrium in areas of slash-and-burn agriculture with short and long fallow period (Bragantina region, NE Brazilian Amazon). **Landscape Ecology**. n. 17, p. 419-431, 2002.
- METZGER, J.P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**. v.1, n.12, p. 1-9, 2001. Disponível em <<http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12>>
- WATRIN, O.S.; GERHARD, P.; MACIEL, M.N.M. Dinâmica do uso da terra e configuração da paisagem em antigas áreas de colonização de base econômica familiar, no nordeste do estado do Pará. **Geografia**, v.52, p.455-472, 2009.