**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Padrões de uso e cobertura do solo na Floresta Nacional do
Tapajós e seu entorno**

Leila Sheila Silva Lisboa

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2015**

Leila Sheila Silva Lisboa
Licenciado Pleno em Matemática

**Padrões de uso e cobertura do solo na Floresta Nacional do Tapajós e
seu entorno**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **CARLOS ALBERTO VETTORAZZI**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Lisboa, Leila Sheila Silva

Padrões de uso e cobertura do solo na Floresta Nacional do Tapajós e seu entorno /
Leila Sheila Silva Lisboa. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de
2011. - - Piracicaba, 2015.

132 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Dinâmica de uso e cobertura do solo 2. Componentes de mudança 3. Métricas da
paisagem 4. Conectividade funcional I. Título

CDD 634.90981
L769p

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

A minha família, pelo amor incondicional

Ofereço.

Aos meus pais, Cristóvam e Maria Lisboa,
Aos meus irmãos
Letícia (in memoriam), Luciane, Ricardo e Larissa
por serem pessoas que sempre fizeram
parte de minha vida.
Dedico

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) pelo espaço e pela oportunidade de obter novos conhecimentos.

À Fundação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo auxílio financeiro.

Aos professores da ESALQ pelos conhecimentos transmitidos.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Alberto Vettorazzi, pelo exemplo profissional, competência, estímulo e apoio na realização deste trabalho.

À professora Dra. Lucietta Guerreiro Martorano pelos ensinamentos, competência e apoio incondicional durante toda a minha jornada na ESALQ.

Ao Rodrigo de Almeida Muniz por todas as contribuições para este trabalho, sem as quais este não teria sido concluído.

Em especial agradeço aos meus amados pais, Cristóvam e Maria Lisboa, por todo o carinho e amor transmitidos e aos meus queridos irmãos, Letícia (in memorian), Lucinha, Larissa e Ricardo, que sempre me incentivam e torcem pelo meu sucesso.

Ao projeto ROBIN, pelo apoio financeiro para os trabalhos de campo.

À Lúcia Monteiro e Davilmar, secretárias do departamento por nos auxiliarem em todos os problemas burocráticos.

Aos meus queridos amigos da Piracicasa (Celine, Daiana, Rodrigo, Carioca, Thomas, Pintinho e Cem), que convivi todo esse tempo.

Aos meus amigos de primeira moradia, Siglea Chaves, Eric Noirtin, Juca e Kita pela convivência.

Aos meus doces avós, Cristovão Lisboa (in memorian) e Maria José pelas muitas orações e amor permanente.

Aos meus sobrinhos, pelo amor que sempre me dão.

A todos os meus amigos paraenses que enviaram frequentes mensagens de incentivo.

*“A persistência é o menor caminho do
êxito”.*

Charles Chaplin

*“Descobrir consiste em olhar para o que
todo mundo está vendo e pensar uma coisa
diferente”.*

Roger Von Oech

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	15
LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE TABELAS	21
1 INTRODUÇÃO	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	27
2.2 ECOLOGIA DA PAISAGEM	28
2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	29
2.4 MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DO SOLO	30
2.4.1 Dinâmica de uso e cobertura do solo	31
2.4.2 Variação temporal simultânea	33
2.5 FRAGMENTAÇÃO	33
2.5.1 Consequências da fragmentação	35
2.5.1.1 Efeito de borda	35
2.5.1.2 Efeitos sobre a diversidade	36
2.5.2 Estrutura de paisagem	36
2.5.2.1 Métricas da paisagem	36
2.5.2.2 Componentes da estrutura da paisagem	38
2.5.2.3 Métricas estruturais e funcionais	38
2.6 CONECTIVIDADE DOS HABITATS	39
2.6.1 Caminho de menor custo (<i>Least-cost path analysis</i>)	40
2.6.2 Superfície de custo	41
2.6.3 A Teoria do grafo	41
3 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 MATERIAL	43
3.1.1 Área de estudo	43
3.1.1.1 Localização	43
3.1.1.2 Clima	44
3.1.1.3 Hidrografia	44
3.1.1.3 Relevo	45
3.1.1.4 Vegetação	45

3.1.1.5 Histórico de ocupação	46
3.1.1.6 Uso e cobertura do solo	48
3.2 BASE DE DADOS CARTOGRÁFICA	51
3.2.1 Imagens de satélite	51
3.2.2 Dados vetoriais	52
3.3 MÉTODOS	53
3.3.1 Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo	53
3.3.2 Dinâmica de uso e cobertura do solo	53
3.3.3 Tipos de mudanças analisadas	53
3.3.3.1 Matriz de transição	56
3.3.3.2 Identificação das transições sistemáticas na paisagem	57
3.3.3.3 Comparação relativa entre duas grandezas	59
3.3.3.4 Análise das mudanças entre períodos	59
3.4 FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM	62
3.4.1 Sistema computacional Fragstats	62
3.4.2 Mapas de uso e cobertura	64
3.4.3 Índices da paisagem	64
3.5 CONECTIVIDADE	66
3.5.1 Seleção das manchas de habitats	66
3.5.2 Superfície de custo	67
3.5.3 Caminho de menor custo (<i>Least-cost path analysis</i>)	67
3.5.4 Teoria do grafo	68
3.5.5 Conefor	68
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4.1 QUANTIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO NA PAISAGEM	71
4.2 DINÂMICA DE USO E COBERTURA DO SOLO	75
4.2.1 Matriz de transição	75
4.2.2 Tipos de mudanças para cada intervalo de tempo	77
4.2.2.1 Primeiro período: 1986 e 1997	78
4.2.2.2 Segundo período: 1997 e 2005	80
4.2.2.3 Terceiro período: 2005 e 2009	83
4.2.3 Persistência do uso e cobertura	86
4.2.3.1 Primeiro período: 1986 e 1997	86
4.2.3.2 Segundo período: 1997 e 2005	87

4.2.3.3 Terceiro período: 2005 e 2009	87
4.2.4 Detecção das transições sistemáticas e aleatórias	88
4.2.4.1 Primeiro período: 1986 e 1997	88
4.2.4.2 Segundo período: 1997 e 2005	89
4.2.4.3 Terceiro período: 2005 e 2009	89
4.2.5 Análise de intensidade de mudança	90
4.2.5.1 Floresta Nacional do Tapajós – FNT	91
4.2.5.2 Zona de amortecimento – ZA	93
4.2.5.3 Área de Influência - AI	95
4.3 FRAGMENTAÇÃO	97
4.3.1 Métricas em nível de paisagem	97
4.3.1.1 Análise de área	97
4.3.1.2 Análise de área nuclear	98
4.3.2 Métricas em nível de classes	99
4.3.2.1 Floresta Nacional do Tapajós – FNT	99
4.3.2.1.1 Número de fragmentos - NP	99
4.3.2.1.2 Índices de área, forma e área nuclear	100
4.3.2.2 Zona de amortecimento – ZA	101
4.3.2.3 Área de influência – AI	102
4.3.3 Métricas em nível de manchas	103
4.3.3.1 Número de fragmentos - NP	103
4.3.3.2 Análise de forma	107
4.3.3.3 Análise de área nuclear	109
4.4 CONECTIVIDADE DE HABITATS	110
4.4.1 Superfícies de custo	110
4.4.2 Caminhos de menor custo	110
4.4.3 Índices de conectividade	113
4.4.3.1 Conectividade em nível de paisagem	113
4.4.3.1 Importância das manchas de habitat para uma determinada espécie hipotética, calculadas pelo índice de conectividade PC	113
5 CONCLUSÕES	115
REFERÊNCIAS	117
ANEXOS	123

RESUMO

Padrões de uso e cobertura do solo na Floresta Nacional do Tapajós e seu entorno

A crescente pressão sobre os recursos naturais tem motivado pesquisadores a desenvolver metodologias e adoção de novas ferramentas para avaliar as principais forçantes de mudanças de uso e cobertura do solo e propor estratégias de mitigação em áreas antrópicas com baixa produtividade na Amazônia. Práticas conservacionistas como uso de sistemas de produção apresentam-se como alternativas capazes de apontar indicadores de sustentabilidade em consonância com políticas públicas para a região. As Unidades de Conservação – UCs são criadas para resguardar a integridade dos ecossistemas, a biodiversidade e os serviços ambientais de cada paisagem e retardar o avanço do desmatamento. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar padrões na paisagem na Floresta Nacional do Tapajós e seu entorno capazes de identificar a dinâmica de uso e cobertura do solo, períodos de alta e baixa intensidade de mudanças, heterogeneidade da paisagem e conectividades funcionais. Foram utilizadas quatro metodologias: análises quantitativas de mudança identificando perdas e ganhos; intensidade anual de mudanças, fragmentação por meio de métricas da paisagem; conectividade funcional, entre a matriz da UC e os fragmentos florestais em seu entorno. A área de estudo foi dividida em três subáreas: Floresta Nacional do Tapajós (FNT); Zona de Amortecimento (ZA); e Área de Influência (AI). Foram utilizadas imagens do satélite Landsat dos anos de 1986, 1997, 2005 e 2009. Avaliou-se a dinâmica de mudança em matriz de transição detalhada (perdas, ganhos, mudança líquida, permuta de mudança, intensidade anual de mudança). No sistema computacional Fragstats calculou-se índices métricos da paisagem. No ambiente SIG foi gerada a distância de menor custo utilizada no sistema Conefor. No Conefor foram gerados os índices de conectividade funcional. Com base nos quatro mapas de uso e cobertura do solo obtidos, referente aos anos de avaliações, verificou-se que pelo método tradicional de análise de padrões, as áreas com Floresta Nativa (FN) dentro da Flona Tapajós praticamente não variaram (3,1%), indicando a manutenção da conectividade funcional na UC. Todavia, na Zona de Amortecimento (ZA) e Área de Influência (AI), as perdas foram de 41,3% de Floresta Nativa (FN). Ao aplicar metodologias com maior análise de sensibilidade verificou-se que na parte norte da área de estudo existe menor probabilidade de conectividade com a Flona Tapajós. Conclui-se que as reduções de manchas florestais começaram na parte norte da área de estudo, também evidenciada pela intensificação dos caminhos de perdas de conectividade funcional nas áreas mais próximas a Belterra, onde localizam-se os cultivos de grãos. A Floresta Nacional do Tapajós apresenta maior conectividade com a parte sul, ou seja, existe maior probabilidade de conectividade funcional com o município de Rurópolis.

Palavras-chave: Dinâmica de uso e cobertura do solo; Componentes de mudança; Métricas da paisagem; Conectividade funcional

ABSTRACT

Use and land cover patterns in the Tapajós National Forest and its surroundings

Growing pressure on natural resources has motivated researchers to develop methodologies and new tools to assess the main driving forces of land cover and land use change and to come up with mitigation strategies in low productivity populated areas of the Amazon. Conservation practices, such as the use of production systems, have appeared as alternatives able to point out sustainability indicators in line with the region's public policies. Conservation Units (UC) are designed to protect the ecosystems integrity, biodiversity and each landscape's ecosystem services, as well as to slow down deforestation. In this context, this study's aim was to assess landscape patterns in the Tapajós National Forest and its surroundings that would be able to identify the dynamics of land use and land cover, periods of high and low intensity of change, landscape heterogeneity and functional connectivity. Four methodologies were used: quantitative analyses of change by identifying losses and gains; annual intensity of change; fragmentation through landscape metrics; functional connectivity between the UC headquarters and the forest around it. Our study area was divided into three sub-areas: the Tapajós National Forest (FNT), the Buffer Zone (ZA) and the Area of Influence (AI). Also, we used Landsat satellite images from the years 1986, 1997, 2005 and 2009. We assessed the change dynamics in detailed transition matrix (losses, gains, net change, change permutation, annual intensity of change). In the computer system Fragstats, we calculated the landscape metric indexes. In the GIS, we generated the lowest cost distance used in the Conefor system. In the Conefor system, we generated the functional connectivity indexes. Based on the four maps of land use and land cover we obtained for the years we decided to assess, we found through the traditional method of pattern analysis, that areas with Native Forest (FN) within the Tapajós National Forest almost did not change (3.1 %), indicating a maintenance of functional connectivity within the UC. However, in the Buffer Zone (ZA) and Area of Influence (AI), losses amounted to 41.3% of the Native Forest (FN). By applying methodologies with greater sensibility analysis, we found that the northern part of the study area had less possibilities of connectivity with the Tapajós National Forest. To conclude, the reduction of forest patches began in the northern part of the study area, also evidenced by the intensification of functional connectivity loss paths in areas close to Belterra, where are located grain crops. The National Forest presents greater connectivity with the southern part, in other words, there are more possibilities of functional connectivity with the Rurópolis municipality.

Keywords: Land use and land cover dynamics; Change components; Landscape metrics; Functional connectivity

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Os três estados da Amazônia Legal (Mato Grosso - MT, Pará – PA e Rondônia – RO com as maiores taxas de desmatamento. Fonte de dados: INPE - PRODES.....28
- Figura 2 – Parâmetros de mudança do uso e cobertura do solo: perdas e ganhos; mudança líquida e permuta de mudança32
- Figura 3 – Localização da Floresta Nacional do Tapajós e seus trinta quilômetros de entorno.....43
- Figura 4 – Tipologia climática da Floresta Nacional do Tapajós e seus 30km de entorno44
- Figura 5 – Altitude da Floresta Nacional do Tapajós – FNT e seu entorno.....45
- Figura 6 – Declividade da Floresta Nacional do Tapajós – FNT e seu entorno45
- Figura 7 – Vegetação da Floresta Nacional do Tapajós – FNT e seu entorno, segundo o sistema brasileiro de classificação46
- Figura 8 – Floresta Nacional do Tapajós e seu entorno, com as elipses (contorno preto) representando as áreas desmembradas dessa unidade de conservação no ano de 2012.....49
- Figura 9 – Uso e cobertura do solo da área de estudo, dos anos: 1986, 1997, 2005 e 2009, com a Floresta Nacional do Tapajós em destaque74
- Figura 10 – Análise comparativa dos diferentes tipos de mudança ocorridas nas subáreas: Floresta Nacional do Tapajós - FNT, Zona de amortecimento - ZA e Área de influência - AI , no primeiro período analisado(1986-1997)..80
- Figura 11 – Análise comparativa dos diferentes tipos de mudança ocorridas nas subáreas: Floresta Nacional do Tapajós - FNT, Zona de amortecimento - ZA e Área de influência - AI , no segundo período analisado (1997-2005) 83
- Figura 12 – Análise comparativa dos diferentes tipos de mudança ocorridas nas subáreas: Floresta Nacional do Tapajós - FNT, Zona de amortecimento - ZA e Área de influência - AI , no terceiro período analisado(2005-2009)...85
- Figura 13 – Análise de intensidade em nível de intervalo, para a Floresta Nacional do Tapajós, nos três intervalos estudados: 1986-1997; 1997-2005 e 2005-2009. As barras que estão à esquerda do zero representam a área total de mudança em cada intervalo, enquanto as barras que estão à direita do zero

representam a intensidade anual de mudança dentro de cada intervalo de tempo	91
Figura 14 – Análise comparativa de intensidade em nível de categoria, na Floresta Nacional do Tapajós - FNT, nos três períodos analisados: 1986 e 1997; 1997 e 2005 e 2005 e 2009	92
Figura 15 – Análise de intensidade em nível de intervalo, na Zona de amortecimento - ZA, nos três intervalos estudados: 1986-1997; 1997-2005 e 2005-2009. As barras que estão à esquerda do zero representam a área total de mudança em cada intervalo, enquanto as barras que estão à direita do zero representam a intensidade anual de mudança dentro de cada intervalo de tempo	93
Figura 16 – Análise de intensidade em nível de categoria, na Zona de amortecimento, nos três períodos analisados: 1986 e 1997; 1997 e 2005 e 2005 e 2009	94
Figura 17 – Análise de intensidade em nível de intervalo, na área de influência, nos três intervalos estudados: 1986-1997; 1997-2005 e 2005-2009. As barras que estão à esquerda do zero representam a área total de mudança em cada intervalo, enquanto as barras que estão à direita do zero representam a intensidade anual de mudança dentro de cada intervalo de tempo.....	95
Figura 18 – Análise de intensidade em nível de categoria, na Área de influência, nos três períodos analisados: 1986 e 1997; 1997 e 2005 e 2005 e 2009	96
Figura 19 – Número de fragmentos (NP) localizados na Floresta Nacional do Tapajós.....	99
Figura 20 – Número de fragmentos (NP) localizados na Zona de amortecimento - ZA	102
Figura 21 – Número de fragmentos (NP) localizados na Área de influência - AI	103
Figura 22 – Distribuição dos fragmentos (NP) na Floresta Nacional do Tapajós em classes de tamanho (ha).....	105
Figura 23 – Distribuição dos fragmentos (NP) da Zona de amortecimento - ZA em classes de tamanho (ha).....	106
Figura 24 – Distribuição dos fragmentos (NP) na Área de influência – AI em classes de tamanho (ha)	107
Figura 25 – Índice SHAPE em áreas menores que 10 hectares, na subárea da Floresta Nacional do Tapajós – FNT	108
Figura 26 – Índice SHAPE em áreas de 10 a 100 hectares, na subárea da Floresta Nacional do Tapajós – FNT	108

Figura 27 – Índice SHAPE em áreas de 100 a 500 hectares, na subárea da Floresta Nacional do Tapajós – FNT	108
Figura 28 – Índice SHAPE em áreas maiores que 500 hectares, na subárea da Floresta Nacional do Tapajós – FNT	108
Figura 29 – Índices da área total e da área nuclear obtidos na Floresta Nacional do Tapajós	109
Figura 30 – Superfícies de custo criada pela soma ponderada das camadas de uso e cobertura do solo e de declividade	111
Figura 31 – Caminhos de menor custo que representam a rota de um nó ao outro através dos links (conexões) no grafo.....	112
Figura 32 – Importância de cada mancha de habitat em termos de sua contribuição individual para a manutenção da conectividade da paisagem medida pelo índice dPC	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de Uso e Cobertura do Solo na Floresta Nacional do Tapajós - FNT e seu entorno.....	54
Tabela 2 – Matriz de transição 4 x 4 para comparar dois mapas de diferentes anos.....	56
Tabela 3 – Matriz de transição em função da contagem de pixels simbolizando os elementos durante o intervalo de tempo $[Ano_t, Ano_{t+1}]$ (ALDWAIK; PONTIUS JR., 2012).....	61
Tabela 4 – Tabela de descritores das classes de interesse.....	63
Tabela 5 – Tabela de profundidade de borda em .fsq utilizada no modelo.....	64
Tabela 6 – Descrição de cada métrica calculada para os quatro anos analisados	65
Tabela 7 – Índices de conectividade (BODIN; SAURA, 2010; SAURA; PASCUAL-HORTAL, 2007; SAURA; TORNE, 2012)	69
Tabela 8 - Matriz de transição das subáreas analisadas (FNT, ZA e AI) em três períodos diferentes: 1986-1997, 1997-2005 e 2005-2009.....	71
Tabela 9 – Matrizes de transição da Floresta Nacional do Tapajós - FNT, para os três intervalos de tempo: 1986-1997 (em negrito), 1997-2005 (fonte normal) e 2005-2009 (em itálico).....	75
Tabela 10 – Matrizes de transição da Zona de Amortecimento - ZA para os três intervalos de tempo: 1986-1997 (em negrito), 1997-2005 (fonte normal) e 2005-2009 (em itálico).....	76
Tabela 11 – Matrizes de transição da Área de Influência - AI para os três intervalos de tempo: 1986-1997 (em negrito), 1997-2005 (fonte normal) e 2005-2009 (em itálico).....	77
Tabela 12 – Razão entre perda/persistência e ganho/persistência das classes de uso e cobertura do solo nas três áreas de estudo: Floresta Nacional do Tapajós - FNT, Zona de amortecimento - ZA e Área de influência – AI.....	86
Tabela 13 – Métricas de área, em nível de paisagem, das subáreas: FNT, ZA e AI da área de estudo.....	98
Tabela 14 – Métricas de borda, em nível de paisagem da subárea FNT.....	98
Tabela 15 – Número de fragmentos na Floresta Nacional do Tapajós separados pelas classes DES, FN e REG	100
Tabela 16 - Métricas da paisagem, em nível de classes, para a subárea ZA.....	101
Tabela 17 – Métricas da paisagem, em nível de classes, para a subárea AI	103

Tabela 18 – Quantidade de número de fragmentos - NP na Floresta Nacional do Tapajós - FNT	104
Tabela 19 – Quantidade de fragmentos - NP na Zona de amortecimento - ZA.....	105
Tabela 20 – Quantidade de número de fragmentos - NP na Área de influência - AI	106
Tabela 21 – Índices de conectividade em nível de paisagem.....	113

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional gera demandas por recursos naturais, como a água, o solo, os animais, as árvores, os minerais, aumentando a procura por terras produtivas e, conseqüentemente, alterando as áreas naturais, originando paisagens modificadas pelo homem. Essa crescente pressão sobre os recursos naturais, por ser um fenômeno recorrente e sem planejamento, tem motivado pesquisadores a tentar entender as causas e efeitos das mudanças de uso e cobertura do solo para propor melhorias nas práticas adotadas de uso do solo e delimitar áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade.

Uma das maiores ameaças à biodiversidade é o desmatamento e a fragmentação de habitats. O índice de desmatamento no território brasileiro é alarmante, fato que o torna o segundo país com as maiores áreas devastadas em todo o mundo (LOPES; VIALÔGO, 2013).

Entre as estratégias para conter o desmatamento está a criação de políticas públicas, como o Pacto pelo Desmatamento Zero; o Plano Setorial de mitigação e de adaptação às Mudanças Climáticas para consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura - Plano ABC; a criação do Instituto Chico Mendes; fortalecimento de sistemas de monitoramento do Desmatamento e Degradação Ambiental; Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia; o Código Florestal Brasileiro e a ampliação de áreas legalmente protegidas. Tais políticas reforçam que o Brasil está comprometido com a conservação da biodiversidade, típica de regiões tropicais como o Bioma Amazônia.

No caso de Áreas Protegidas - APs, entre as quais estão incluídas as Unidades de Conservação, Terras Indígenas e Terras de Quilombo, localizadas geralmente em paisagens naturais envolvidas por ambientes antropizados, há a facilidade de pressões pelo desmatamento, atividade madeireira, construção de estradas e mineração.

Apesar dessas ameaças, as APs são a defesa principal para reduzir a perda de áreas florestais e extinção de espécies (JOPPA; LOARIE; PIMM, 2008), já que nessas áreas são estabelecidos limites e dinâmicas de uso e ocupação específicos (MEDEIROS, 2006) que variam de acordo com o tipo de unidade.

O estado do Pará possui o maior conjunto de APs do Brasil. Somando-se às APs do Amapá e do Amazonas, formam o maior corredor de biodiversidade do

planeta. Porém, esta região possui um histórico de altas taxas de desmatamento, sendo que nos anos de 1985 e 2004 foram atingidas as maiores taxas. Com as pressões nacionais e internacionais em prol da biodiversidade, em 2009 houve uma redução nesses valores, porém desde 2005 o estado do Pará continuou tendo a maior taxa de desmatamento da Amazônia Legal.

O desmatamento significa perda de habitat para muitas espécies e desequilíbrio dos ecossistemas. A extração madeireira, quando realizada de forma predatória, pode afetar e comprometer a integridade da floresta, já que os remanescentes florestais tornam-se mais vulneráveis ao fogo (COCHRANE; LAURANCE, 2002). As rodovias também têm impactos sobre a biodiversidade, em especial a variação genética, pois reduzem o fluxo genético pelo efeito de barreira e reduzem a abundância da população, consequência da mortalidade de animais nas rodovias (JACKSON; FAHRIG, 2011). Na mineração, há casos de impactos severos sobre a floresta, os leitos dos rios e a qualidade das águas (VERÍSSIMO et al., 2011).

A cobertura florestal por ser um elemento sensível às tendências da paisagem é um tema muito valorizado. Seu estudo permite conhecer as condições naturais do território e os efeitos das influências antrópicas recebidas. Portanto, estudos que quantifiquem a dinâmica de uso em paisagens com extensas áreas de cobertura natural, no espaço e no tempo, são importantes para a mitigação das ações antrópicas.

Dessa forma, o conhecimento detalhado da distribuição da proporção de cada classe de uso e cobertura do solo, dentro e fora de uma UC, para a caracterização de padrões de mudanças mais importantes, faz-se necessário para tentar entender o processo, assim como suas consequências, para o estabelecimento de estratégias conservacionistas.

Além disto, há estudos (MALCOLM, 1994; TABARELLI et al., 2008) que analisam os fragmentos da paisagem quanto a sua forma, tamanho, área nuclear e isolamento, por meio das métricas da paisagem, possibilitando avaliar os efeitos da fragmentação em função do uso e cobertura do solo.

Também há estudos (SAURA et al., 2011; PASCUAL-HORTAL e SAURA, 2006) que consideram a importância da conectividade no planejamento da paisagem e na conservação do habitat, adotando a abordagem da conectividade funcional, em que a distância a ser considerada não é a menor distância e, sim, a

distância de menor custo que facilite o fluxo do movimento de determinadas espécies entre as manchas de habitat.

Neste contexto, a hipótese deste trabalho é que o monitoramento da Floresta Nacional do Tapajós e o entendimento das pressões que esta UC vem sofrendo, pode se dar pela análise detalhada da dinâmica de uso e cobertura do solo e a identificação dos processos ecológicos pode ser aprimorada pelo uso de sistemas de análises estruturais de fragmentos e tecnologias voltadas à conectividade funcional da paisagem para a flora e fauna.

Para testar a hipótese do trabalho, esse estudo objetivou avaliar a dinâmica de uso e cobertura do solo para caracterizar os padrões de mudança mais importantes; identificar as transições sistemáticas mais significativas na Floresta Nacional do Tapajós e no seu entorno; verificar o período em que a taxa anual de mudança total foi relativamente alta ou relativamente baixa, indicada pela análise de intensidade; avaliar os padrões espaciais da fragmentação na Floresta Nacional do Tapajós e seu entorno por meio de métricas da paisagem; analisar a conectividade funcional entre a matriz desta UC e os fragmentos florestais que a contornam, por meio da distância do menor custo e da Teoria dos grafos.

Esse trabalho está inserido em um projeto em rede internacional intitulado ROBIN (Potencial da biodiversidade e dos ecossistemas na mitigação de mudanças climáticas – *Role of Biodiversity in Climate Change Mitigation*) que visa identificar a importância do efeito escala da Amazônia no sistema climático, tendo como área de estudo a Floresta Nacional do Tapajós e seus 30 km de entorno, localizada no estado do Pará. No Brasil, esse projeto está sob a coordenação da EMBRAPA Amazônia Oriental.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Unidade de Conservação

Segundo a União Internacional para a Conservação da Natureza - IUCN, Área Protegida - AP é “uma área com limites geográficos definidos e reconhecidos, cujo intuito, manejo e gestão buscam atingir a conservação da natureza, de seus serviços ecossistêmicos e valores culturais associados de forma duradoura, por meios legais ou outros meios efetivos” (ISA, 2013).

Quando as áreas protegidas têm como objetivo a proteção da biodiversidade, ecossistemas e paisagem, utiliza-se o termo “Unidade de Conservação” - UC, que pode ser entendido como um subconjunto das áreas protegidas (FOLETO; ZIANI, 2013).

Unidade de Conservação – UC é definido como espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

Todas as UCs devem possuir uma Zona de Amortecimento - ZA, também chamada de Zona tampão, estabelecida com o objetivo de filtrar os impactos negativos das atividades que ocorrem fora de uma UC. Portanto, a ZA é o entorno de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade (BRASIL, 2000).

O maior corredor de biodiversidade do planeta encontra-se nos estados do Pará, Amapá e Amazonas (BARRETO; RAIOL, 2007). Porém, o estado do Pará possui um histórico de altas taxas de desmatamento, sendo que, nos anos de 1985 e 2004 foram atingidas as maiores taxas. Em 2009, com as pressões nacionais e internacionais em prol da biodiversidade, houve a redução desses valores, para $3.687 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$, porém desde 2005 esse estado continua tendo a maior taxa de desmatamento da Amazônia Legal (Figura 1).

Figura 1 – Os três estados da Amazônia Legal (Mato Grosso - MT, Pará – PA e Rondônia – RO com as maiores taxas de desmatamento. Fonte de dados: INPE - PRODES

2.2 Ecologia da Paisagem

A ecologia de paisagens é uma área de conhecimento dentro da ecologia, marcada pela existência de duas principais abordagens: uma geográfica, que privilegia o estudo da influência do homem sobre a paisagem e a gestão do território; e outra ecológica, que enfatiza a importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos, e a importância destas relações em termos de conservação biológica (METZGER, 2001).

Segundo Turner (1989) a paisagem pode ser considerada um mosaico de manchas de habitat e interconexões. Piovesan et al. (2013) mencionam que uma paisagem é formada por fragmentos, ou manchas de habitat, que persistem em matrizes constituídas por diferentes formas de uso e ocupação do solo, formando a paisagem em mosaico.

Para Forman e Godron (1986) a Ecologia da Paisagem foi definida como o estudo da estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas formadas por ecossistemas interativos.

Valente e Vettorazzi (2002) ampliam essa definição, afirmando que a Ecologia da Paisagem é o estudo que trata das relações entre os padrões espaciais e os processos ecológicos, utilizando-se de uma série de métricas ou índices de paisagem, que permitem a comparação entre paisagens, a identificação das

principais diferenças e a determinação das relações entre os processos funcionais e os padrões espaciais da paisagem.

A Ecologia da paisagem é fundamentada em três aspectos básicos (LANG; BLASCHKE, 2009):

- **Estrutura:** representada pela configuração (padrão) específica dos elementos da paisagem (manchas) no que se refere ao seu tamanho e forma, tipo, distribuição quantitativa e arranjo espacial. É formada por unidades homogêneas da paisagem, que podem ser apresentadas por meio de interpretação dos processamentos digitais de imagens e caracterizada por meio de estruturas espaciais. Quando essas estruturas são de interferência humana, a paisagem é caracterizada pela forma específica de uso do solo.
- **Função:** são as interações entre os elementos da paisagem, seus componentes e componentes de sistema, ou seja, estão associadas a processos naturais elementares.
- **Mudança de paisagens ou desenvolvimento:** Refere-se ao momento em que as paisagens são submetidas a uma mudança gradual, independente da influência humana. Do ponto de vista da análise da estrutura da paisagem, as mudanças mais graves são as que ocorrem lentamente, ou seja, de forma gradual com tendência a continuar nela. Essa tendência implica uma certa taxa de mudança.

2.3 Sistemas de Informação Geográfica

A maioria dos dados com os quais se trabalham em Ecologia da Paisagem tem relação com o espaço geográfico: mapas de solo, relevo, rodovias, uso e cobertura do solo, aptidão agrícola, entre outros. Muitas vezes, torna-se necessário integrá-los de forma a gerar uma nova informação. Para que ocorra essa integração é necessário o uso de Sistemas de Informação Geográfica – SIGs.

Os SIGs têm capacidade de armazenar, recuperar, combinar e analisar os dados disponíveis sobre um território. Os primeiros SIGs surgiram no ano de 1960, no Canadá, porém seu acelerado crescimento deu-se a partir de 1980, juntamente com o avanço da tecnologia computacional e ferramentas matemáticas para análise espacial. Suas aplicações envolvem diversas áreas: saúde, transporte, agricultura, hidrologia, entre outros.

No escopo deste trabalho, seu uso foi aplicado na i) combinação das classes temáticas de uso e cobertura do solo para os diferentes anos, por meio da álgebra de mapas, para a geração da matriz de transição; ii) organização e manipulação dos mapas temáticos de uso e cobertura do solo para sua leitura no sistema computacional Fragstats; iii) geração da superfície de custo para a criação dos melhores caminhos que serviram de entrada no sistema computacional Conefor; iv) confecção dos mapas.

2.4 Mudanças de uso e cobertura do solo

O uso do solo refere-se à função ou propósito no qual a terra é usada pela população local, podendo ser definida como as atividades humanas que estão diretamente relacionadas à terra, como agricultura e pecuária. Cobertura do solo, por sua vez, refere-se à composição biofísica da superfície terrestre que apresenta características físicas, químicas, ecológicas ou biológicas da superfície, como florestas e corpos de água (CHOUDHURY; JANSEN, 1998).

O acelerado processo de mudança do uso e cobertura do solo – MUCS tem despertado interesse em diversos setores da sociedade e em diversos níveis de organização (BRAIMOH, 2006).

No Brasil, em grande escala, uma das causas atribuídas ao aquecimento global é a grande quantidade de CO₂ liberada à atmosfera devido à queima da floresta e posterior substituição por pastagens, agricultura ou outras formas de uso do solo.

Tais mudanças, provocadas pelas atividades humanas, favorecem o processo de fragmentação da paisagem, ocasionando perda de habitat, aumento do número de fragmentos e isolamento dos mesmos, gerando impactos negativos para a biodiversidade (FAHRIG, 2003).

Tabarelli et al. (2008) ressaltam que o uso do solo no entorno dos fragmentos provoca reações em cadeia que avançam além do limite da borda para dentro do fragmento.

2.4.1 Dinâmica de uso e cobertura do solo

Entender o processo de transição exige a estimação e a análise de vários componentes de mudança, bem como as transições sistemáticas, dominantes e estacionárias (ALDWAIK; PONTIUS JR., 2012; ALO; PONTIUS, 2008; BRAIMOH, 2006; PONTIUS JR. et al., 2004).

Essas mudanças são mensuradas por respostas quantitativas em termos de aumento (ou ganho) ou diminuição (ou perda) da área correspondente a uma classe de uso ou cobertura do solo. A detecção e medição de tal mudança depende da escala espacial; quanto maior o nível de detalhe espacial, maiores serão as mudanças na extensão da área de uso e cobertura do solo que podem ser detectadas e registradas (BRIASSOULIS, 2000).

A melhor maneira de mensurar esse fenômeno é através da utilização de produtos multi-temporais de sensoriamento remoto. Há vários métodos convencionais para avaliar essas mudanças e compará-las em diferentes períodos, os quais são baseados em mapas temáticos, originados dos processamentos digitais em imagens de satélite e que são organizados e manipulados em Sistemas de Informação Geográfica - SIG. A matriz de transição é uma abordagem que identifica as mudanças e as persistências ocorridas entre as classes de uso e cobertura do solo - UCS entre o tempo inicial (ano_t) e o tempo final (ano_{t+1}). No entanto, não é possível relacionar o processo potencial que determina os padrões dessa transformação.

Pontius Jr. et al. (2004) e Aldwaik e Pontius Jr. (2012) abordam o uso da matriz de transição para análises detalhadas de mudança. Nesses trabalhos são adotadas análises que levam em consideração se as transições observadas ocorreram devido a um processo de transição sistemática ou devido a um processo aleatório (uniforme) de mudança (ALO; PONTIUS JR., 2008; BRAIMOH, 2006).

Segundo Braimoh (2006) as transições aleatórias são influenciadas por processos de mudanças únicos e coincidentes, por exemplo, eventos de curto prazo caracterizados por mudanças rápidas (migração espontânea e conflitos internos). Por outro lado, a transição sistemática deve-se a um processo de mudança regular ou comum (crescimento populacional, desenvolvimento da fronteira, mudanças de governança).

Esses tipos de transição permitem que pesquisadores e planejadores, que atuam na área de mudanças da paisagem, foquem nos sinais mais fortes de mudança e investiguem as possíveis causas usando informações auxiliares (BRAIMOH, 2006).

Nessa abordagem os autores propuseram o uso de dois pares de componentes: 1) ganhos totais e perdas totais e 2) mudança líquida (*net change – ng*) e permuta de mudança (*swap change – sg*) (Figura 2).

Figura 2 – Parâmetros de mudança do uso e cobertura do solo: perdas e ganhos; mudança líquida e permuta de mudança

- As perdas são a diminuição da área correspondente a uma determinada classe de ocupação existente no tempo inicial (ano_t), que dá lugar a outro tipo de uso no final do período analisado (ano_{t+1}).
- Os ganhos representam o aumento da área de uma determinada classe de uso que ocorreu por perda em outra classe no período analisado.
- O parâmetro mudança líquida (*net change*) é utilizado para medir o nível de alteração do uso correspondente a uma dada classe no seu total (LOURENÇO et al., 2008). Ressalta-se que a ausência de mudança líquida não indica necessariamente uma ausência de alteração do uso do solo. Significa que, os ganhos e perdas de uma classe para outra são equivalentes, ou seja, a diferença entre elas é nula.
- A permuta de mudança (*swap change*) é utilizada para verificar a alocação espacial, ou seja, corresponde a uma determinada classe de ocupação do solo que se perdeu num local mas que foi compensado por um ganho equivalente

dessa mesma classe em outro local. Seu cálculo necessita de um pareamento de cada pixel que perde com cada pixel que ganha.

2.4.2 Variação temporal simultânea

Embora a abordagem criada por Pontius Jr. et al. (2004) forneça informações detalhadas das mudanças ocorridas, essas medidas não permitem a consideração da variação temporal simultânea. Para este tipo de análise foi adotada a abordagem de Aldwaik e Pontius Jr. (2012).

Essa análise é realizada em três níveis de abordagem:

- 1) Nível de intervalo: caracteriza as análises multi-temporais, ou seja, investiga como a área de mudança anual, em relação ao todo, varia no tempo, ao comparar-se com a intensidade de mudança anual observada.
- 2) Nível de categoria: avalia como a intensidade de mudança varia entre as categorias, identificando as categorias ativas e inativas em cada intervalo.
- 3) Nível de transição: consiste de dois grupos. Um grupo examina a intensidade de transição para uma categoria particular de ganho, e a outra examina a intensidade de uma categoria particular de perda.

Estes níveis são comparados com o valor da intensidade uniforme, que representa a taxa uniforme de mudança que poderia existir se todas as mudanças fossem distribuídas uniformemente através de toda a área de estudo.

2.5 Fragmentação

Quando as atividades humanas ou eventos naturais dividem uma área grande e contínua de habitat em diversos habitats menores, diz-se que o habitat está num processo de fragmentação. A fragmentação pode ocorrer tanto em habitats terrestres quanto aquáticos. O processo de fragmentação de habitat produz cinco efeitos: i) a quantidade total de habitat diminui; ii) o número de fragmentos de habitat aumenta; iii) a quantidade de borda de habitat aumenta; iv) o tamanho do fragmento médio diminui; e v) o isolamento do fragmento aumenta (FAHRIG, 2003; RICKLEFS, 1996). Inversamente, à medida que a fragmentação aumenta, a matriz de habitat entre os fragmentos (campos desmatados entre os fragmentos de floresta) experimenta o efeito oposto: a quantidade total aumenta; o número de fragmentos

distintos diminui; o tamanho do fragmento médio aumenta e a matriz se torna mais contínua (RICKLEFS, 1996).

Porém, torna-se necessário distinguir entre a fragmentação ocorrida por processos naturais e a fragmentação ocorrida por processos antrópicos. De acordo com Ricklefs (1996), os habitats fragmentados ou ilhas de habitats produzidos por processos naturais são: i) flutuações climáticas, que podem causar expansão ou retração de determinados tipos de vegetação; ii) heterogeneidade de solos, com certos tipos de vegetação restritos a tipos específicos de solos; iii) topografia, que pode formar ilhas de tipos específicos de vegetação em locais elevados; iv) processos hidrogeológicos, que produzem áreas temporariamente ou permanentemente alagadas, onde ocorrem tipos particulares de vegetação.

Como causas antrópicas, pode-se mencionar o crescimento populacional e pressões econômicas, que promovem uma grande conversão das florestas tropicais em um mosaico de habitats alterados e remanescentes isolados (GASCON; LAURANCE; LOVEJOY, 2001) por meio das atividades agropecuárias que exercem forte pressão sobre as florestas e os ecossistemas abertos, causando perda de biodiversidade, pois envolvem o uso do fogo, superpastoreio, monocultura, mecanização intensiva e, principalmente, o uso indiscriminado de agrotóxicos, que diminui a diversidade da flora e da fauna e alteram a qualidade e disponibilidade de água, por meio da contaminação por agrotóxicos ou pelo assoreamento decorrente da erosão dos solos (RAMBALDI; OLIVEIRA, 2003).

Nas florestas tropicais, ecossistemas terrestres de maior diversidade biológica do mundo, o acelerado processo de desmatamento vem fragmentando extensas áreas de cobertura florestal. Na Amazônia Legal, além da pecuária, o cultivo de grãos vem pressionando áreas de floresta, conduzindo novos desmatamentos (ALENCAR et al., 2004).

A fragmentação florestal apresenta um caráter negativo, visto que altera as condições ambientais favoráveis às espécies, reduzindo o tamanho das populações, favorecendo o acasalamento entre indivíduos aparentados (endocruzamento) e, conseqüentemente, inviabilizando a manutenção da variabilidade genética (ANDREN, 1994; PÉRICO; CEMIN, 2006).

2.5.1 Consequências da fragmentação

2.5.1.1 Efeito de borda

A fragmentação é decorrente do desmatamento, que isola manchas de diferentes tamanhos. Logo após esse isolamento, as áreas mais externas das ilhas de vegetação (bordas) tendem a ser estruturalmente mais abertas e, portanto, mais permeáveis a fluxos de calor (insolação), luz e modificação do regime de ventos. Essas mudanças provocadas pelos limites artificiais da floresta são chamados de efeitos de borda e têm enorme impacto sobre os organismos que vivem nesses ambientes fragmentados (DELAMÔNICA, et al., 2001). Portanto, os efeitos de borda resultam de uma combinação de fatores, bióticos e abióticos, que alteram as condições ambientais, ao longo das bordas das manchas, comparadas ao seu interior (MCGARIGAL, 2002).

O efeito de borda acaba estabelecendo espécies generalistas, atraídas para as bordas dos fragmentos, com tendência a penetrar nos núcleos (*Core area*) desses fragmentos. Essas espécies, têm características de excelentes dispersoras e capacidade para invadir e colonizar habitats em distúrbios (DIAS; LATRUBESSE; GALINKIN, 2000). Esse processo provoca mudanças no equilíbrio ambiental, modificando as relações ecológicas entre a fauna, a flora e o meio abiótico (RIBEIRO; MARQUES, 2005).

Laurance (1997) menciona que quanto menor o fragmento, maior será o nível de perturbação para a floresta. Seus limites podem vir a tornar-se irregulares, deixando-os mais vulneráveis aos efeitos de borda, porque qualquer ponto dentro do fragmento será influenciado por múltiplas bordas mais próximas do que uma única borda (MALCOLM, 1994). Porém, esses efeitos variam em função do seu tamanho, da forma e do grau de isolamento. Quanto mais fragmentada estiver a área, maior será a heterogeneidade da paisagem, o que implica no aumento das perturbações nesses ambientes (DA SILVA; MELO, 2014).

Na Amazônia, os remanescentes florestais circundados por pastagens, as quais são regularmente queimadas para o controle de ervas daninhas e para promover a brotação, são os mais suscetíveis, pois o fogo, originado nos pastos, pode penetrar grandes distâncias nos interiores desses fragmentos. Já os fragmentos cercados por florestas secundárias são menos vulneráveis às mudanças

micro-climáticas relacionadas aos efeitos de borda e, conseqüentemente, a mortalidade de árvores é menor nesses fragmentos do que naqueles cercados por pastagens.

2.5.1.2 Efeitos sobre a diversidade

A diversidade é a condição ou qualidade de ser diverso, de ter componentes diferentes em um conjunto. Em geral, ela significa a riqueza de espécies, isto é, quantas espécies existem em um local (RAMBALDI; OLIVEIRA, 2003). Segundo esses autores, os fenômenos e processos biológicos são alterados quando ocorre fragmentação. Perde-se diversidade e isto implica na perda de grupos funcionais em muitos lugares.

A composição e a riqueza de espécies da floresta também são alterados pela fragmentação, pois as espécies adaptadas às perturbações são favorecidas em detrimento às espécies nativas. Por exemplo, alguns polinizadores, como os beija-flores e as abelhas, não voam longas distâncias fora da floresta, pois não estão adaptados à exposição direta ao sol.

Segundo Delamônica et al. (2001) a perda da variabilidade genética, que ocorre mais lentamente quanto maior for a população, é um dos principais problemas do isolamento das populações.

Desta maneira, o conhecimento do estado em que se encontra a paisagem da Floresta Nacional do Tapajós e seu entorno é fundamental para o monitoramento, buscando a preservação da paisagem natural e dos processos ecológicos.

2.5.2 Estrutura de paisagem

2.5.2.1 Métricas da paisagem

As métricas da paisagem são índices quantitativos que descrevem aspectos composicionais e espaciais da paisagem (LEITÃO; AHERN, 2002) baseados, exclusivamente, em mapas categóricos, provenientes de imagens de sensoriamento remoto (KUPFER, 2012; MCGARIGAL, 2002).

Os elementos da paisagem são definidos como entidades discretas, ou manchas individuais, e o padrão da paisagem é descrito usando métricas

desenvolvidas para quantificar as manchas (tamanho, geometria, isolamento) e mosaico (riqueza e diversidade, conectividade).

As medidas da estrutura da paisagem são realizadas em três níveis (LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL, 2002):

Métricas relativas a manchas: descrevem as características geométricas de manchas individuais. Essas medidas devem ser ordenadas às categorias de métricas relativas a área, formas, bordas e áreas nucleares.

- i. Área: é a medida da estrutura da paisagem mais exequível e perceptível, por isso é a mais difundida. Por exemplo, com o aumento da área pode haver um número potencialmente maior de indivíduos e espécies.
- ii. Bordas: o comprimento ou densidade da borda desempenha um papel fundamental na concepção de ecótono. É possível supor que uma elevada densidade de bordas (comprimento de borda por hectare) significa um alto grau de complexidade, e que na maioria dos ecossistemas esse tipo de complexidade de diferentes habitats é visto positivamente. Percursos de bordas complicados e contornos irregulares aumentam a exposição.
- iii. Áreas nucleares (*core areas*): representam os espaços internos de unidades espaciais. Do ponto de vista da ecologia animal, a geração de área nuclear serve para o registro de espaços interiores do habitat ecologicamente efetivo para espécies sensíveis às bordas. A pesquisa de área nuclear divide-se em três processos: determinação da distância da área nuclear por meio de um buffer negativo; cálculo de medidas de áreas; e comparação por meio da aplicação de outras distâncias de área nuclear ou comparação multitemporal.
- iv. Forma: baseia-se na combinação de área e perímetro. Porém o principal aspecto dessa métrica é a relação com o efeito de borda. Exemplo: Relação área-borda (interior, edge, ratio), a melhor relação área-borda é representada pelo círculo.

Métricas relativas às classes: resumem todas as manchas de uma determinada classe ou tipo. Em muitas aplicações o interesse primário é na quantidade e distribuição de um tipo particular de mancha, portanto, muito usado na fragmentação de habitat. Os índices de classe, separadamente, calculam a quantidade e configuração espacial de cada tipo de mancha e, assim, fornecem a média para

quantificar a extensão e fragmentação de cada tipo de mancha dentro de uma paisagem.

Métricas a nível de paisagem: referem-se a toda a paisagem. Portanto, não é levada em consideração a configuração espacial das manchas individuais, mas a distribuição das classes participantes. Nesse grupo fala-se de métricas espacialmente implícitas. Em muitas aplicações o interesse primário é no padrão, composição e configuração do mosaico inteiro.

2.5.2.2 Componentes da estrutura da paisagem

As métricas compreendem duas categorias: composição e configuração espacial. A composição refere-se à quantificação do mapa sem integrar com atributos espaciais e a configuração espacial quantifica o mapa necessitando de informações espaciais para seus cálculos.

Composição: facilmente quantificada e refere-se a feições associadas com a variedade e abundância dos tipos de manchas dentro da paisagem, mas sem considerar o caráter espacial, ou localização das manchas dentro do mosaico (MCGARIGAL, 2002). Ou seja, mede características relacionadas à proporção, riqueza ou dominância e diversidade de cada classe. A esta categoria estão relacionadas as métricas de área: *AREA* e *CORE AREA* e as métricas de diversidade (LEITÃO; AHERN, 2002).

Configuração espacial: É mais difícil para quantificar. O padrão espacial a ser representado é o caráter espacial das manchas individuais (média, tamanho, formato) dentro da classe ou paisagem. Algumas métricas representam o reconhecimento de que as propriedades ecológicas de uma mancha são influenciadas pela sua vizinhança (efeito de borda) e que a magnitude dessas influências são afetadas pelo tamanho da mancha e formato.

2.5.2.3 Métricas estruturais e funcionais

As métricas podem ser classificadas em estruturais ou funcionais. Essa classificação dependerá do modo de medição dos padrões espaciais em relação a um processo ecológico particular (MCGARIGAL, 2002).

Métricas estruturais: podem ser definidas como medidas de composição ou configuração do mosaico da mancha, sem referência a qualquer processo ecológico.

Métricas funcionais: podem ser definidas como uma medida explícita do padrão da paisagem de um modo que é totalmente relevante para um organismo ou processo levado em consideração, ou seja, consideram a permeabilidade dos diferentes tipos de manchas para um movimento de um organismo ou processo de interesse.

2.6 Conectividade dos habitats

A conectividade da paisagem corresponde a caminhos preferenciais que permitam o fluxo de espécies selvagens existentes, ou seja, corredores de menor perturbação antrópica para a movimentação das espécies selvagens entre as áreas protegidas (PASCUAL; SAURA, 2006).

A conectividade pode ser definida como a capacidade da paisagem de facilitar os fluxos biológicos de organismos, sementes e grãos de pólen (URBAN; SHUGART, 1986), ou seja, a habilidade de diferentes tipos de organismos em cruzar as barreiras que as separam dos fragmentos.

A conectividade da paisagem também é definida como o grau para o qual a paisagem facilita ou impede o movimento das espécies entre os recursos existentes (SAURA et al., 2011; TAYLOR et al., 1993)

Um dos principais efeitos da fragmentação é a perda de conectividade que ocorrem em habitats originalmente conectados que são recortados por assentamentos, estradas, campos agrícolas, ou outras atividades humanas.

Portanto, a conectividade da paisagem pode ser muito importante para a persistência das espécies, assim como o tamanho de manchas pode ter forte influência na abundância de espécies e padrões de movimento (TURNER, 1989). Ela se relaciona com o espaço físico onde a flora e a fauna podem se mover entre os fragmentos de vegetação ou entre diversos habitats.

Espécies em manchas isoladas podem ter baixa probabilidade de persistência e muitos aspectos da composição e configuração da paisagem são afetados: área da mancha, número de manchas, quantidade de borda da mancha, complexidade do formato da mancha, distância entre as manchas, entre outras. Todas essas características afetam a conectividade da paisagem (NELL; MCGARIGAL, 2004).

Dos Anjos (1998) mencionou que, para manter a conectividade e viabilizar a existência das populações é necessária a preservação de áreas grandes e próximas

entre si, se possível ligadas por corredores verdes, do que áreas pequenas e isoladas.

Para Adriaensen et al. (2003) a conectividade não depende apenas das características da paisagem (conectividade estrutural), mas também dos aspectos de mobilidade do organismo, ou seja, sua conectividade funcional.

A conectividade da paisagem deve ser definida relativa ao aspecto estrutural e funcional da paisagem, sendo que o aspecto estrutural refere-se à fisionomia da paisagem, que leva em consideração o arranjo espacial dos fragmentos de habitat; permeabilidade da matriz, ou seja, resistência das unidades da matriz aos fluxos biológicos, enquanto que o aspecto funcional refere-se à resposta biológica específica de uma espécie à estrutura da paisagem. Tudo depende das características da espécie e da maneira como ela se locomove na paisagem e interage com seus elementos: corredores, matriz, fragmentos (WIENS; SCHOOLEY; WEEKS JR, 1997).

Para que ocorra a conectividade, é necessária a existência de elos e ligações em escalas apropriadas. Um conjunto de pequenos fragmentos isolados, porém próximos, pode efetivamente proporcionar vias de acesso, funcionando como *stepping stones* (o conceito baseia-se nas pedras, que dispostas num rio, permitam sua travessia), sendo extremamente difícil isolar, completamente, um fragmento florestal de outros na mesma região, de forma que paisagens naturais modificadas ainda permitem, em diferentes graus, o intercâmbio de indivíduos (AYRES et al., 2005).

Uma outra metodologia de análise, é fornecida pela Teoria dos grafos. Na Ecologia de paisagens, essa teoria tem sido usada como possibilidade às análises estruturais.

2.6.1 Caminho de menor custo (*Least-cost path analysis*)

Em paisagens fragmentadas, o melhor trajeto encontrado para a dispersão das espécies entre os fragmentos florestais, não depende apenas da distância. O caminho de menor custo corresponde à menor resistência encontrada pelas espécies em movimento e não necessariamente o caminho mais curto. Essa análise utiliza superfícies de distância de custos ponderados e de direção para determinar o melhor caminho, que é particular para cada espécie focal entre uma origem e um destino. Na análise do caminho de menor custo são avaliados os oito vizinhos de cada célula. O potencial caminho representado percorre as células que têm o menor

custo acumulado. Esse processo é repetido até a origem e o destino se tornarem ligados. O caminho traçado representa a soma mais baixa de valores de células entre os dois pontos (ADRIAENSEN et al., 2003).

2.6.2 Superfície de custo

Superfície de custo representa algum fator ou combinação de fatores que afetam o caminho a ser percorrido por determinadas espécies. Por exemplo: i) terreno íngreme pode aumentar os custos de construções de estradas, então a declividade do terreno é um fator de custo; ii) a presença humana pode inibir o movimento de determinado animal, então o mapa de uso e cobertura do solo é um fator de custo. O objetivo é alcançar um destino percorrendo o menor caminho, levando em consideração as dificuldades de locomoção de animais dentro do ambiente. O resultado final é a geração de um vetor (linha), com várias distâncias ligando a origem ao seu destino.

2.6.3 A Teoria do grafo

Um grafo é definido por duas estruturas: uma que descreve seus nós e outra que descreve suas bordas, ou conexões. Quando essa teoria é aplicada na Ecologia da Paisagem, a rede representa uma paisagem binária de habitat e não-habitat, onde os nós representam as manchas discretas dos habitats (manchas, células) e as conexões, entre elas, representam as bordas, e o restante da área é assumida como não-habitat (HARRIS et al., 2014).

Numa visão simples as paisagens são vistas como, no mínimo, consistindo de elementos lineares altamente conectados conhecidas como redes. Essas propriedades de conectividade são preditores úteis de biodiversidade (FORMAN, 1995).

As bordas são definidas pela distância funcional entre duas manchas *i* e *j*. Essa distância não é calculada como uma distância euclidiana, mas sim como uma série de caminhos de menor custo apropriados para que um determinado organismo, atravessasse de uma mancha para outra.

Nas últimas décadas, a teoria dos grafos estabeleceu-se como uma importante ferramenta matemática numa variedade de áreas do conhecimento: engenharia, genética, geografia, ecologia, análise numérica, computação paralela, telecomunicações, química, entre outras.

A Teoria do grafo tem sido identificada como “possuindo o maior” benefício proporcional ao esforço, por examinar a conectividade em amplas escalas espaciais típicas para o gerenciamento da conservação (CALABRESE; FAGAN, 2004). Para aplicações na paisagem, essa teoria combina dados do habitat espacialmente explícito com informação sobre a habilidade da faixa de travessia ou dispersão biológica de uma espécie. Tem sido usada para avaliar a conectividade de um organismo específico dentro de uma paisagem particular (ROBERT et al., 2002).

O grafo matemático é construído pela comparação de distâncias pareadas entre manchas para uma distância limítrofe (dt) o qual representa a máxima distância que para um organismo é esperado viajar através dos não-habitat (BUNN; URBAN; KEITT, 2000). Se a distância entre as duas manchas é menor do que dt , as duas manchas são consideradas conectadas. Quando duas ou mais manchas são conectadas elas formam um cluster.

Geralmente a paisagem com um grande cluster é considerada muito conectada enquanto a paisagem com vários clusters pequenos são consideradas menos conectadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Área de estudo

3.1.1.1 Localização

A área de estudo é a Floresta Nacional do Tapajós – FNT, uma unidade de conservação da categoria Uso Sustentável classificada na categoria Floresta Nacional criada pelo Decreto nº 73.684 de fevereiro de 1974. Está localizada na Amazônia Legal, na mesorregião do Baixo Amazonas no oeste do estado do Pará, entre os paralelos 2° 28' 52,25" e 4° 23' 1,09" de latitude sul e entre os meridianos de 54° 31' 35,62" e 55° 40' 48,41" de longitude oeste. Abrange parcialmente os municípios de Aveiro, Belterra, Mojuí dos Campos, Rurópolis e Placas. Limita-se ao norte com o paralelo que cruza o km 50 da rodovia Cuiabá-Santarém (BR 163); ao sul, com a Rodovia Transamazônica e os rios Cupari e Cuparitinga ou Santa Cruz; a leste, com a rodovia Cuiabá-Santarém - BR 163, e a oeste com o rio Tapajós (Figura 3).

Figura 3 – Localização da Floresta Nacional do Tapajós e seus trinta quilômetros de entorno

3.1.1.2 Clima

O clima predominante, de acordo com o método de Köppen, adaptado por Martorano et al. (1993), é do tipo Am3 (Figura 4). Este sub-tipo climático caracteriza-se por uma faixa em que existem meses menos chuvosos inferiores a 60 mm e precipitação pluvial anual varia de 2.000 a 2.500mm.

Figura 4 – Tipologia climática da Floresta Nacional do Tapajós e seus 30km de entorno

3.1.1.3 Hidrografia

A Floresta Nacional do Tapajós faz limite a oeste com o Rio Tapajós, um dos dez principais rios da região Amazônica em termos de área de drenagem, estimada em 490 mil km², e com vazão de 1,35 mil m³s⁻¹. Na foz do Rio Arapiuns, o Rio Tapajós apresenta mais de 40 km de largura. É um rio de águas claras, navegável ao longo de 345 km por barcos de calado de até 1,5 m. Ao sul faz limites com o Rio Cupari, tributário do Rio Tapajós.

3.1.1.3 Relevo

A altitude máxima observada na área de estudo é de aproximadamente 425 m. A porção sul da área é composta por uma cadeia de montanhas com altitude acima de 250 m. A maior parte da área está entre a altitude de 100 e 150 m (Figura 5). A classe de relevo predominante é de plano a suave ondulado, com declividades entre 0 e 6%, concentrados principalmente na porção norte da área de estudo (Figura 6).

Figura 5 – Altitude da Floresta Nacional do Tapajós – FNT e seu entorno

Figura 6 – Declividade da Floresta Nacional do Tapajós – FNT e seu entorno

3.1.1.4 Vegetação

A FNT é uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas, inseridas no domínio de florestas tropicais. Em escalas regionais, a FNT situa-se na zona de Floresta Ombrófila Densa, tipo de vegetação dominante no norte do país. Esse tipo de vegetação caracteriza-se pela dominância de árvores de grande porte sob regime climático de temperaturas elevadas e intensas

precipitações pluviais distribuídas ao longo do ano, podendo ocorrer período seco de até 60 dias. As variações de ambiente e relevo podem resultar em diferentes formações – aluvial, terras baixas, submontana, montana e altomontana, e com fisionomia de dossel uniforme ou com árvores emergentes (Figura 7).

Figura 7 – Vegetação da Floresta Nacional do Tapajós – FNT e seu entorno, segundo o sistema brasileiro de classificação

A área da Floresta Nacional do possui quatro sistemas ecológicos: (i) Floresta Tropical Densa, com subdivisões em Baixos Platôs da Amazônia e Altos Platôs do Xingu/Tapajós; (ii) Floresta Tropical Aberta; (iii) Refúgios; e (iv) Áreas Antrópicas (CORDEIRO, 2004).

3.1.1.5 Histórico de ocupação

A Floresta Nacional do Tapajós foi criada durante o período de execução do Programa de Integração Nacional - PIN, cujo lema era “integrar para não entregar”, uma referência ao incentivo à ocupação da região Amazônica.

Antes mesmo de sua criação já era habitada por populações tradicionais: colonos (assentados pelo INCRA) ao longo da BR-163 e ribeirinhos localizados às margens do Rio Tapajós. Esse fato provocou conflitos fundiários nesta unidade, pois a

legislação não reconhecia a presença de população em Florestas Nacionais - FLONA. Somente em 1994, a presença de comunidades em Flonas passou a ser oficialmente permitida (BRASIL, 1994).

A abertura da estrada, no início da década de 1970, proporcionou o acesso à terra a grupos com práticas diferentes, o que foi intensificado a partir do anúncio da pavimentação da BR-163, em 2001. Entre estes grupos estão: madeireiros, pecuaristas, agricultores familiares (colonos e assentados), garimpeiros, grileiros (comerciantes ilegais de terra), empresários agrícolas (grandes produtores de grãos) e as ONGs que trabalham pela conservação do meio ambiente (ALENCAR, 2005).

A BR-163 foi planejada como um dos projetos do Plano de Integração Nacional e começou a ser aberta em 1973. Sua manutenção foi totalmente abandonada na década de 1980, voltando a receber atenção governamental somente na década de 1990 (ALENCAR, 2005).

Segundo a autora, em 2000, com o crescimento da produção de grãos, a BR-163 começou a despontar como nova rota para baratear o transporte da soja produzida na região central e norte do Mato Grosso, despertando o interesse do governo e dos empresários pela sua pavimentação. Em fevereiro de 2004, foi criado um grupo de trabalho interministerial (GTI) para discutir a sustentabilidade da rodovia e propor um plano de ação para o corredor que liga a cidade de Cuiabá a Santarém, a partir disto foi criado o Plano BR-163 Sustentável. O asfaltamento dessa rodovia, até 2005 ainda não havia sido completado.

A prática do manejo florestal começou a ser implantada a partir de 1990, por causa da exigência de Plano de Manejo florestal, e a indústria florestal começou a se distinguir da agropecuária para poder manter as áreas com cobertura florestal (PINTO, 2015). No entanto, empreendedores agropecuários se capitalizaram por meio do desenvolvimento de seus negócios e deixaram de depender da venda da madeira para financiar o desmatamento e a construção de infraestrutura de seus empreendimentos (BRASIL, 2006).

No fim de 2006, o governo federal criou uma série de unidades de conservação na área de influência da rodovia e interditou administrativamente uma região de aproximadamente 8 milhões de hectares à margem esquerda da estrada.

A região vem ganhando grande importância devido ao acesso ao terminal da Cargil, um dos grandes portos graneleiros da região, inaugurado no ano de 2003 e que está localizado na cidade de Santarém.

Esse terminal tem capacidade para embarcar dois milhões de toneladas de grãos ao ano. Atualmente, encontra-se em processo de ampliação, o que contribuirá para que o município seja reconhecido como uma das principais rotas para o escoamento de grãos no Brasil (CARGIL, 2015).

3.1.1.6 Uso e cobertura do solo

A FNT possui uma cobertura florestal superior a 90% de sua extensão. Seus arredores consistem de fragmentos florestais e um misto de atividades relacionadas à agricultura, pecuária e extração de madeira.

Esta UC, até o final do ano de 2012, possuía uma área aproximada de 549 mil hectares. Atualmente sua extensão territorial está em torno de 527 mil hectares, uma perda de aproximadamente 4% de sua extensão original. As duas áreas desmembradas (Figura 8) estavam entre as regiões mais expostas ao desmatamento, apontadas no Plano de Manejo, finalizado em 2004.

Para viabilizar o Plano de Manejo, foi criada a Cooperativa Mista da Floresta Nacional do Tapajós – COOMFLONA. É um projeto modelo de manejo florestal madeireiro e comunitário em caráter empresarial, tendo sua base do operariado restrito aos comunitários da Floresta Nacional do Tapajós. A área de manejo madeireiro representa 5% da área total da Flona (BRASIL, 2014).

A atividade econômica historicamente predominante é a agricultura familiar; a queimada é um tipo de uso adotado para o preparo da terra, prática comum entre a população tradicional, além da lavoura de subsistência, extrativismo de produtos florestais madeireiros e não-madeireiros, pecuária extensiva de baixa produtividade e da pesca de subsistência.

Também existem áreas de lavouras de arroz e soja, produzidas de acordo com o padrão tecnológico da agricultura empresarial que junto com a pecuária, torna-se um dos principais fatores de alteração ambiental dentro da Floresta Nacional do do Tapajós (CORDEIRO, 2004).

Figura 8 – Floresta Nacional do Tapajós e seu entorno, com as elipses (contorno preto) representando as áreas desmembradas dessa unidade de conservação no ano de 2012

O arroz é plantado preferencialmente em solos de textura média, logo depois da derrubada da mata, sendo o cultivo que gera maior pressão por desmatamento. Porém, essa região despontou como uma das principais fronteiras de expansão do cultivo da soja no estado do Pará (ALENCAR, 2005).

As áreas de regeneração também fazem parte da dinâmica da FNT, pois servem para as culturas de ciclo curto, exceto para o arroz, e são utilizadas prioritariamente nas áreas onde a ocupação encontra-se historicamente estabelecida. Após essas áreas serem desmatadas, são utilizadas para lavoura por

dois ou três anos e então abandonadas, podendo ser reutilizadas no mesmo processo após 5 a 10 anos de pousio (COHENCA, 2007).

Ressalta-se que, no Plano de Manejo dessa unidade, foi recomendada a adequação dos usos indevidos, como desmatamentos e expansão de áreas de pastagens, que ocorrem no interior da unidade.

O impacto esperado deste tipo de ocupação é bem diferente dos sistemas de roçado da população tradicional. As áreas desmatadas são maiores e a tecnologia utilizada traz impactos ambientais adicionais devido ao consumo elevado de fertilizantes químicos e agrotóxicos.

A existência de rodovias e de outras infra-estruturas são os determinantes mais importantes do desmatamento (FEARNSIDE, 2005). Estudos de Araújo et al. (2013) reforçam que as UCs ocupadas e localizadas nas proximidades de grandes obras de infraestrutura, construídas ou planejadas, como rodovias e hidrelétricas, são as que apresentam as mais altas taxas de desmatamento.

Cohenca (2007) afirma que apesar dos constantes problemas de entrada de novos moradores na unidade, roubo de madeira e entrada de clandestinos para caça de mamíferos e de quelônios, ao comparar-se as unidades de conservação do Oeste do Pará a FNT ainda é uma das unidades que sofre menos ameaças à sua integridade.

Por outro lado, Fearnside (2005) ressalta que a necessidade de governança na BR-163 é essencial, visto que o asfaltamento dessa rodovia permitirá a expansão de um desmatamento irreversível a partir dessa rodovia.

Portanto, a escolha da extensão da área foi baseada em diversos fatores: presença de floresta nativa expressiva; expansão de atividades agropecuárias em seu entorno; manejo florestal desde o ano de 1980; possíveis processos ecológicos que a UC pode vir a apresentar e causar a perda de algumas espécies da fauna e flora; ser uma área de estudo vinculada a um projeto internacional e ser uma área suficientemente grande com características de área de preservação da biodiversidade.

3.2 Base de dados cartográfica

3.2.1 Imagens de satélite

As imagens de satélite representam uma das diversas fontes de Sensoriamento Remoto aplicáveis a estudos dos recursos terrestres. As imagens do satélite Landsat são as mais antigas (desde 1972) possibilitando realizar o monitoramento de fenômenos naturais e antrópicos sobre uma série temporal adequada.

Para a realização desse monitoramento foram utilizadas as imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5 dos anos de 1986, 1997, 2005 e 2009, que se encontram nas órbitas/ponto 227/62, 227/63, 228/62 e 228/63.

A base digital das imagens orbitais foi adquirida no site da USGS: <http://glovis.usgs.gov/> (HOUSKA; JONHSON, 2012). A seleção dessas imagens foi baseada considerando o mínimo de cobertura de nuvens e anos que na história do desmatamento tiveram sua maior expressão.

Para a interpretação dessas imagens e a extração de informações ambientais foram necessários alguns processamentos digitais de imagens orbitais. Para isso foi utilizado o sistema ENVI v. 4.5, com os seguintes procedimentos:

1. *Junção das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7;*
2. *Pré-processamento das imagens:* nesta etapa foram executadas as correções geométricas e atmosféricas das imagens:
 - *Correção atmosférica:* seguiu-se o Princípio da Refletância Zero, metodologia proposta por Chavez (1988);
 - *Correção geométrica:* foi realizada com um modelo de transformação polinomial e um método de interpolação pelo vizinho mais próximo. Para esta correção utilizou-se a imagem GEOCOVER obtida no site <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/>.
3. *Classificação das imagens:* O classificador usado foi o ISO-DATA. Os pontos obtidos a campo, situados na parte norte da área de estudo, subsidiaram a classificação final da área.
4. *Definição das classes temáticas de uso e cobertura do solo:* Também denominada categorias: Corpos d'água (AG); Floresta Nativa (FN);

Regeneração (REG); Desmatamento (DES), Campos Naturais (CN); e Outros (OU).

5. *Mosaico*: Como a área de estudo é coberta por quatro cenas distintas, optou-se por trabalhá-las isoladamente, recortando a imagem, utilizando como máscara o arquivo vetorial da área de estudo. Portanto o mosaico foi realizado apenas no final da classificação.

3.2.2 Dados vetoriais

Como informações complementares foi utilizada a base vetorial georrefenciada disponibilizada no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm: limite municipal; sistema viário; hidrografia; sedes municipais; e Unidades de Conservação. Os dados climáticos foram obtidos em <http://www.iwmi.org.br> na forma de pontos que representam dados de estações interpoladas e com os atributos X,Y, Z, sendo X e Y representando as coordenadas geográficas e Z representando as variáveis climáticas: precipitação, temperatura, umidade (NEW et. al. 2002).

3.3 Métodos

3.3.1 Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo

As classes de uso e cobertura do solo foram mapeadas com base nas séries históricas de imagens Landsat e na interpretação visual das imagens Landsat (5R4G3B) na escala de 1:80.000, no sistema ENVI v.4.5. Os critérios usados na identificação e determinação das classes temáticas foram: forma, que está relacionada à geometria do objeto; tamanho, que varia conforme a resolução espacial da imagem; tonalidade, relacionada à quantidade de energia refletida por um objeto; e textura, que pode ser lisa ou rugosa (Tabela 1).

3.3.2 Dinâmica de uso e cobertura do solo

A dinâmica da paisagem foi estudada num espaço de tempo de 23 anos. Para este intervalo foram classificadas quatro imagens orbitais, que originaram três períodos: 1986-1997; 1997-2005; e 2005-2009, o que possibilitou a avaliação das mudanças de cada classe, realizada a partir da matriz de transição.

3.3.3 Tipos de mudanças analisadas

As metodologias foram baseadas em Pontius Jr. et al. (2004) e Aldwaik e Pontius Jr. (2012). A primeira é usada para a identificação das transições sistemáticas e a comparação de mudanças dentro de um mesmo período, onde a quantidade de mudança foi analisada por classe em termos de ganhos totais, perdas totais e persistência, assim como pelos parâmetros mudança líquida (*net change*) e permuta de mudança (*swap change*) que permitem a descrição do estado diferencial para cada classe no período analisado.

Na segunda metodologia os autores desenvolveram métodos analíticos que permitem a comparação, de no mínimo, três anos diferentes. As mudanças são comparadas considerando três níveis de análise: nível por intervalo, nível por categoria e nível por transição. O nível de transição não foi aplicado nessa tese.

A área de estudo foi separada em três partes: a) Floresta Nacional do Tapajós – FNT; b) Zona de Amortecimento – ZA; e c) Área de influência - AI, por serem áreas com diferentes dinâmicas de uso e cobertura do solo e por apresentarem características diferentes.

Tabela 1 – Classes de Uso e Cobertura do Solo na Floresta Nacional do Tapajós - FNT e seu entorno

(continua)

Imagens Landsat Composição (5R4G3B)	Uso e Cobertura/SIGLA	Características	Crítérios para interpretação
Água (AG)	Rio Tapajós. É um rio de água clara. Em determinados trechos apresenta mais de 40 km de largura.	Cor azul claro ou azul-escuro. Textura lisa
Floresta nativa (FN)	Floresta tropical densa e menos densa com inclusão de cipoal. Relevo ondulado platô dissecado com árvores emergentes. Essa categoria é a mais representativa na paisagem estudada.	Predomínio da cor verde médio-escuro e textura rugosa.
Campos Naturais/CN	Ou cerrados. Corresponde àquelas áreas quase totalmente desprovidas de vegetação, onde ocorrem somente tipos arbustivos, tortuosos e de pequeno porte, além de gramíneas. Essa área é conhecida também por savana arenosa.	Predomínio da cor magenta, textura lisa e formato irregular (indicadora de objetos naturais).

Tabela 1 – Classes de Uso e Cobertura do Solo na Floresta Nacional do Tapajós - FNT e seu entorno

(conclusão)

Imagens Landsat Composição (5R4G3B)	Uso e Cobertura/SIGLA	Características	Critérios para interpretação
Regeneração (REG)	Processos naturais de sucessão em diferentes estágios de regeneração, após supressão total da vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais.	Predomínio da cor verde com variedade de tons e textura rugosa.
Desmatamento (DES)	São áreas onde ocorreu a supressão total da vegetação. Também estão incluídas nesta categoria áreas com uma cobertura vegetal recente. Representam áreas ocupadas por atividades agrícolas e pecuárias.	Cor verde-clara ou amarela clara, caso a vegetação seja recente e predomínio da textura lisa. Cor magenta, caso o solo esteja exposto. Geralmente apresenta formato regular, característica de objetos artificiais ou culturais, ou seja, construídos pelo homem.
Outros (OU)	São as nuvens e sombras de nuvens, que ocultam a visualização dos objetos por ela encobertos. Além de ser uma área com alta precipitação pluvial.	Cor branca (nuvens) e preta (sombra de nuvens). Formato irregular. Textura lisa.

As mudanças foram quantificadas e analisadas para três períodos, cada período foi a sobreposição do ano inicial com o ano final: primeiro período (1986 e 1997), segundo período (1997 e 2005) e terceiro período (2005 e 2009). Essas sobreposições forneceram três matrizes de transição.

3.3.3.1 Matriz de transição

A matriz de transição (Tabela 2) auxilia a avaliação das mudanças mais gerais ocorridas no espaço e no tempo. Em sua análise tradicional não fornecia as informações sobre as transições sistemáticas. A partir dos estudos de Pontius Jr. et al. (2004), tornou-se possível a distinção entre as transições sistemáticas e as transições aleatórias, possibilitando a determinação do padrão de mudança de uso e cobertura do solo ocorrida na paisagem.

Tabela 2 – Matriz de transição 4 x 4 para comparar dois mapas de diferentes anos

	Tempo2				Total tempo1	Perda
	Categoria1	Categoria2	Categoria3	Categoria4		
Tempo1						
Categoria1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Categoria2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
Categoria3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
Categoria4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{4+}	$P_{4+} - P_{44}$
Total tempo2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Ganho	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

A matriz de transição segue um formato no qual as linhas representam as categorias do tempo inicial (ano_i) e as colunas representam as categorias do tempo final (ano_{t+1}). A notação P_{ij} indica a proporção da paisagem em que ocorreu a transição da categoria (ou classe) i para a categoria (ou classe) j , onde o número de categorias é J . Os valores da diagonal indicam a persistência da categoria j , que expressa a proporção da paisagem que não evidenciou qualquer transição de uso. Os valores fora da diagonal indicam a transição da categoria i para uma categoria diferente j . O total da coluna (P_{i+}) indica a proporção da paisagem da categoria i no tempo inicial, que é a soma de todos os valores j de P_{ij} . O total das linhas (P_{+j}) refere-se a proporção da paisagem na categoria j no tempo final que é a soma de todos os i de P_{ij} .

Pontius Jr. et al. (2004) criaram uma linha e uma coluna adicionais. A coluna adicional à direita indica a proporção da paisagem que sofre prejuízo bruto da categoria i entre o ano _{t} e o ano _{$t+1$} . A linha adicional indica a proporção da paisagem que sofre um ganho bruto da categoria j entre o ano _{t} e o ano _{$t+1$} . A diferença entre os dois é um parâmetro de mudança líquida ou variação líquida “*Net Change*”, calculado conforme a eq. (1).

$$D = |P_{+j} - P_{j+}| \quad (1)$$

Porém, a ausência de mudança líquida não indica necessariamente a ausência de mudança na paisagem. Por isto, é necessário outro parâmetro para informações mais detalhadas dessas variações, chamada de mudança de localização, ou permuta de mudança (*Swap Change*). Esse tipo de mudança é aplicável para dados quantitativos de cada tipo de uso e cobertura do solo ao longo do tempo (PONTIUS JR. et al., 2004), calculado conforme a eq. (2).

$$S = 2 \times \text{Min}(P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj}) \quad (2)$$

Passos para usar a matriz de transição:

1. Examinar a linha e a coluna correspondentes ao campo total que mostra as categorias mais representativas da paisagem;
2. Examinar os dados da diagonal principal que calcula a porcentagem de cada categoria que persiste na paisagem;
3. Computar os dois tipos de mudança: ganhos e perdas que ocorrem na paisagem;
4. Examinar os valores que estão fora da diagonal da matriz de transição, que representam as categorias que mais se destacam em sua conversão.

3.3.3.2 Identificação das transições sistemáticas na paisagem

Se a categoria não apresenta uma tendência particular de perder ou ganhar das outras categorias, então a transição observada pode ser considerada um padrão esperado causado por processos aleatórios ou uniformes.

As transições sistemáticas são identificadas pela observação dos valores fora da diagonal principal. A transição é considerada sistemática se a transição observada desvia da transição esperada devido aos processos aleatórios ou uniformes. Se a categoria A perde sistematicamente para a categoria B e a categoria

B ganha sistematicamente da categoria A, então conclui-se que há um processo sistemático de A para B (ALO; PONTIUS JR., 2008). Portanto, a identificação dos processos sistemáticos consiste de quatro passos:

1. Calcular o ganho esperado para cada classe;
2. Calcular a diferença entre as proporções observadas e os ganhos esperados:
Se a diferença for positiva (+), então a categoria na coluna (ano_{t+1}) ganha sistematicamente da categoria relacionada na linha (ano_t). Se a diferença for negativa (-) então a categoria na coluna sistematicamente evita a mudança para a categoria correspondente na linha (ALO; PONTIUS JR., 2008);
3. Calcular a perda esperada;
4. Calcular a diferença entre a proporção observada e as perdas esperadas: Se a diferença for positiva (+), então a categoria na linha (ano_t) perde sistematicamente para a categoria relacionada na coluna (ano_{t+1}). Se a diferença for negativa (-) então a categoria na linha sistematicamente resiste à mudança para a categoria correspondente na coluna (ALO; PONTIUS JR., 2008);

Para isto, são necessários cálculos para a obtenção dos ganhos (G_{ij}) e perdas (P_{ij}), caso o processo seja aleatório, apresentados nas eq. (3) e (4), respectivamente.

$$G_{ij} = (p_{+j} - p_{jj})(p_{i+} | (100 - p_{j+})), \forall i \neq j \quad (3)$$

Em que: G_{ij} é a transição esperada da classe i para a classe j, sobre um processo aleatório de ganho; p_{+j} é a coluna total da categoria j; p_{ii} é a persistência da classe j; portanto, $(p_{+j} - p_{jj})$ é o ganho observado para a classe j; p_{i+} é a linha total para a classe i; e p_{j+} é a linha para a classe j; portanto, $(100 - p_{j+})$ indica a soma das linhas totais de todas as classes, exceto a classe j.

Os valores localizados na diagonal da matriz permanecem constantes, sendo o cálculo da eq. (3) realizado apenas para os valores que estão fora da diagonal da matriz de transição.

Similarmente, a eq. (4) representa o cálculo da transição esperada devido o processo de perda aleatória.

$$L_{ij} = (p_{i+} - p_{ii}) \left(\frac{p_{+j}}{100 - p_{+i}} \right), \forall i \neq j \quad (4)$$

Em que: L_{ij} é a transição esperada da classe i para a classe j , sobre um processo de perda aleatória; p_{i+} é a linha total da categoria i ; p_{ii} é a persistência da classe j ; portanto, $(p_{i+} - p_{ii})$ é a perda observada da classe i para a classe j ; p_{+j} é a linha total para a classe j ; e p_{+i} é a coluna total da classe i ; portanto, $(100 - p_{+i})$ indica a soma da coluna total de todas as classes, exceto a classe i .

3.3.3.3 Comparação relativa entre duas grandezas

O conceito de razão é a forma mais comum e prática de fazer a comparação relativa entre duas grandezas. Portanto, ao se dividir uma grandeza pela outra, é possível observar o quanto determinada grandeza é maior ou menor que a outra. Seguindo esse raciocínio, Braimoh (2006) propôs uma análise de persistência que oferece informações adicionais relacionadas à vulnerabilidade de uso e cobertura do solo para a transição de outras categorias de uso. Para isso são realizadas duas comparações:

1. Razão perda/persistência: valores maiores que um, indicam uma alta tendência à mudança, por perda, do que à persistência, dada pela eq. (5).

$$l_p = \text{perdas} / \text{persistência} \quad (5)$$

2. Razão ganho/persistência: valores maiores que um, indicam uma alta tendência à mudança, por ganho, do que à persistência, dada pela eq. (6).

$$g_p = \text{ganhos} / \text{persistência} \quad (6)$$

3.3.3.4 Análise das mudanças entre períodos

Embora a abordagem criada por Pontius Jr. et al. (2004) forneça informações detalhadas das mudanças ocorridas, essas medidas não permitem a consideração da variação temporal simultânea. Para este tipo de análise foi adotada a abordagem de Aldwaik e Pontius Jr. (2012) cuja matriz de transição está descrita em função da contagem de pixels (Tabela 3). Nesse método, a análise é realizada em três níveis de abordagem: intervalos, categoria e transição, os quais são comparados com o valor da intensidade uniforme. Este valor representa a taxa uniforme de mudança

que poderia existir se todas as mudanças fossem distribuídas uniformemente através de toda a área de estudo.

1. Nível de intervalo: Caracteriza as análises multi-temporais, ou seja, investiga como a área de mudança anual, em relação ao todo, varia no tempo, comparando a intensidade de mudança anual observada (S_t), dada pela eq. (7), durante cada intervalo de tempo (Ano_t , Ano_{t+1}) com a mudança anual uniforme (U), dada pela eq. (8), durante todos os intervalos analisados.

$$S_t = \frac{\sum_{j=1}^J [(\sum_{i=1}^J c_{tij}) - c_{tjj}]}{(Y_{t+1} - Y_t) (\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^J c_{tij})} 100\% \quad (7)$$

$$U = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \{ (Y_{t+1} - Y_t) \sum_{j=1}^J [(\sum_{i=1}^J c_{tij}) - c_{tjj}] \}}{(Y_{t+1} - Y_t) \sum_{t=1}^{T-1} [(Y_{t+1} - Y_t) (\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^J c_{tij})]} 100\% \quad (8)$$

2. Nível de categoria: avalia como a intensidade de mudança varia entre as categorias, identificando as categorias ativas e inativas em cada intervalo. A eq. (9) calcula a intensidade G_{tj} do ganho total da categoria como uma porcentagem do tamanho da categoria no final do período analisado. A eq. (10) fornece a intensidade (L_{tj}) da perda total anual da categoria como uma porcentagem do tamanho da categoria no início do período analisado. As intensidades obtidas (G_{tj} e L_{tj}) são comparadas a uma intensidade de mudança uniforme (S_{tj}), calculada para o nível de categoria.

$$G_{tj} = \frac{[(\sum_{i=1}^J c_{tij} - c_{tjj})] / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{i=1}^J c_{tij}} 100\% \quad (9)$$

$$L_{tj} = \frac{[(\sum_{j=1}^J c_{tij} - c_{tji})] / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{j=1}^J c_{tij}} 100\% \quad (10)$$

Tabela 3 – Matriz de transição em função da contagem de pixels simbolizando os elementos durante o intervalo de tempo $[Ano_t, Ano_{t+1}]$ (ALDWAIK; PONTIUS JR., 2012)

		<i>Tempo t + 1</i>			<i>Total Y_t</i>	<i>Perda de i</i>
		<i>Categoria1</i>	<i>Categoriaj</i>	<i>CategoriaJ</i>		
<i>Tempo t</i>	<i>Categoria 1</i>	C_{t11}	C_{t1j}	C_{t1J}	$\sum_{j=1}^J C_{t1j}$	$\sum_{j=1}^J C_{t1j} - C_{t11}$
	<i>Categoria i</i>	C_{ti1}	C_{tij}	C_{tiJ}	$\sum_{j=1}^J C_{tij}$	$\sum_{j=1}^J C_{tij} - C_{tii}$
	<i>Categoria J</i>	C_{tJ1}	C_{tJj}	C_{tJJ}	$\sum_{j=1}^J C_{tJj}$	$\sum_{j=1}^J C_{tJj} - C_{tJJ}$
<i>Total Y_{t+1}</i>		$\sum_{i=1}^J C_{i1}$	$\sum_{i=1}^J C_{tij}$	$\sum_{i=1}^J C_{tiJ}$	$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^J C_{tij}$	$\sum_{i=1}^J \left(\sum_{j=1}^J C_{tij} - C_{tii} \right)$
<i>Ganho de j</i>		$\sum_{i=1}^J C_{ti1} - C_{t11}$	$\sum_{i=1}^J C_{tjj} - C_{tij}$	$\sum_{i=1}^J C_{tiJ} - C_{tJJ}$	$\sum_{j=1}^J \left(\sum_{i=1}^J C_{tij} - C_{tjj} \right)$	

3.4 Fragmentação da paisagem

Neste estudo, a estrutura da paisagem foi analisada nas três subáreas usadas para a análise das mudanças de uso e cobertura do solo: Floresta Nacional do Tapajós - FNT, Zona de amortecimento – ZA e Área de influência - AI. Na subárea FNT, a estrutura da paisagem foi analisada a partir da disposição espacial dos fragmentos das classes floresta nativa (FN), regeneração (REG) e desmatamento (DES), sendo que a subárea ZA foi usada como área de efeito de borda. Nas subáreas ZA e AI a análise das estruturas da paisagem foi realizada sem considerar o efeito de borda. As métricas foram analisadas quanto ao tamanho, forma e área nuclear dos fragmentos, no sistema computacional Fragstats.

3.4.1 Sistema computacional Fragstats

O sistema Fragstats, de McGarigal e Marks (1995) continua sendo um padrão entre as ferramentas computacionais atualmente disponíveis para a análise quantitativa da estrutura da paisagem (LANG; BLASCHKE, 2009). Aceita imagens raster numa variedade de formatos: ArcGrid, ASCII, IDRISI, entre outros.

A paisagem estudada pode conter: *background*, bordas e limite.

- *Background*: são classes que não fazem parte do cálculo das métricas. Geralmente seus valores são 99 ou 999. Se positivos fazem parte da paisagem, portanto contribuem para a área total da paisagem. Caso contrário, não fazem parte da paisagem e são ignorados nas análises; consequentemente, as proporções são baseadas na soma de todas as áreas das classes, o que é equivalente à área total da paisagem, menos o interior das áreas equivalentes ao *background*. Na tese, as classes CN e OU foram consideradas como valores positivos de *background*.
- *Bordas*: As paisagens de interesse também podem incluir ao seu redor faixas de terra, fora do limite da paisagem. O Fragstats reconhece as bordas por apresentarem os mesmos valores dos códigos das classes no interior da paisagem, porém com valores negativos. Estas manchas fornecem informação sobre o tipo de mancha adjacente para as manchas dentro da paisagem de interesse, localizadas ao longo do limite da área. Os efeitos destas bordas ocorrem somente nas métricas

que envolvem um tipo de mancha adjacente: área nuclear, contraste de borda, entre outros. Nessa tese, a subárea ZA foi considerada área de borda.

- Limites: Definem o perímetro da paisagem e arredores da mancha do mosaico de interesse. Células com valores positivos estão dentro da paisagem de interesse, enquanto que, células de valores negativos estão fora dessa paisagem.

Alguns arquivos são opcionais, porém necessários, para simular as métricas com mais facilidade. Neles, as classes são configuradas como área de *background* ou área de borda, são eles: tabela de descritores de classes, tabela de profundidade de borda e tabela de contraste. Para essa tese foram criadas uma tabela de descritores (Tabela 4) e uma tabela de profundidade de borda (Tabela 5).

A tabela de descritores permite a especificação da descrição para cada valor numérico das classes. Nela são especificadas as classes em que os cálculos são realizados, permitindo a exclusão de determinadas classes.

Nessa tese reclassificou-se, as classes CN e OU como *background*, com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados; limitando-os somente às classes de interesse.

Tabela 4 – Tabela de descritores das classes de interesse

ID, Name, Enabled, IsBackground
1, AG, true, false
2, FN, true, false
3, REG, true, false
4, DES, true, false
5, CN, false, true
6, OU, false, true

Da mesma forma, foram definidos os parâmetros para o cálculo das métricas de área nuclear (*core area*) onde a profundidade de borda representa a distância, em metros, na qual o efeito de borda penetra na mancha, em que as linhas representam a classe focal, ou seja, a classe que sofre o efeito de borda e as colunas representam as classes adjacentes, que penetram no interior das manchas.

Nessa tese foram usados diferentes efeitos de borda para as classes REG e DES (Tabela 5), visto que o movimento de determinadas espécies é influenciado pelas diferentes formas de uso. Foi adotado um efeito de borda de 500 metros da classe REG para a classe FN e um efeito de borda de 1000 metros da classe DES

para a classe FN. A escolha desses valores foi realizada pela distância detectada nas imagens de satélite de cada ano estudado.

Tabela 5 – Tabela de profundidade de borda em .fsq utilizada no modelo.

FSQ_TABLE
CLASS_LIST_LITERAL(AG, FN, REG, DES, CN, OU)
CLASS_LIST_NUMERIC(1, 2, 3, 4, 5, 6)
0,0,0,0,0,0
0,0,500,1000,0,0
0,100,0,500,0,0
0,100,500,0,0,0
0,0,0,0,0,0
0,0,0,0,0,0

O Fragstats calcula índices que representam a área, extensão e o perímetro (borda). As métricas de área quantificam a composição da paisagem, as métricas de borda quantificam a configuração da paisagem, enquanto que as métricas de área nuclear são as melhores preditoras para a qualidade do habitat. Há também, as métricas de contraste, agregação e diversidade, que não foram utilizadas nesta tese.

As métricas são representadas em três níveis diferentes: i) nível de mancha (cada mancha dentro do mosaico); nível de classe (cada tipo de classe dentro do mosaico) e iii) nível de paisagem (o mosaico da paisagem como um todo).

3.4.2 Mapas de uso e cobertura

Como referência, para a determinação das métricas da paisagem, foram utilizados os mapas categóricos referentes aos anos de 1986, 1997, 2005 e 2009 derivados da classificação das imagens Landsat, obtidos para a quantificação das mudanças de uso e cobertura no solo.

3.4.3 Índices da paisagem

Os parâmetros métricos para os fragmentos florestais utilizados e gerados pelo FRAGSTATS estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Descrição de cada métrica calculada para os quatro anos analisados

(continua)

	Métrica	Observação
Heterogeneidade	NP (número de manchas ou fragmentos da classe)	Grande número de manchas geralmente é equiparado com riqueza estrutural (LANG; BLASCHKE, 2009). Maiores valores de NP indicam maior fragmentação da classe e menores valores indicam união ou extinção de fragmentos de mesma classe (MCGARIGAL, 2001). NP deve ser analisado juntamente com a métrica CA e PLAND. Por exemplo: Se NP diminui, porém CA e PLAND aumentam, isso indica que houve união de fragmentos, mas se NP diminui, entretanto CA e PLAND também diminuem, isso indica que fragmentos foram extintos da paisagem (MCGARIGAL, 2001).
	PD (densidade de manchas ou densidade de fragmentos)	
Análise de área	AREA (área da mancha)	Quanto menor o fragmento, maior a influência dos fatores externos sobre ele, causados pela intensidade do efeito de borda, pois os fragmentos ficam mais vulneráveis as mudanças físicas do ambiente. Há evidências que a riqueza de espécies e a ocorrência e abundância de algumas espécies são fortemente correlacionadas com o tamanho da mancha.
	CA/TA (área da classe)	Corresponde a área de todos os fragmentos da classe. Maiores valores de CA indicam domínio da matriz (MCGARIGAL, 2001). Se o maior CA for de FN, então está favorecendo a conservação.
	PLAND (porcentagem da paisagem)	É uma medida relativa, sendo que é mais apropriada para medir a composição da paisagem do que CA quando for realizada a comparação de paisagens com tamanhos diferentes (MCGARIGAL, 2014).
	LPI (índice do maior fragmento)	É uma medida simples de dominância.
Análise de bordas	MPS (tamanho médio da mancha)	As menores médias de tamanho da mancha indicam uma classe mais fragmentada.
	TE (soma das bordas)	É uma medida absoluta do comprimento total. O total de bordas geralmente é equiparado com riqueza de estrutura; também pode significar fragmentação (LANG; BLASCHKE, 2009). O aumento de borda, aumenta os efeitos adversos sobre espécies do interior de habitats.
	ED (densidade das bordas)	Em aplicações que envolvem comparação de paisagens com tamanhos diferentes é mais útil. Para comparação de paisagens de mesmo tamanho TE e ED são redundantes. Quando ED=0, significa que não há nenhuma classe com borda na paisagem (MCGARIGAL, 2014).
Análise de forma	SHAPE (índice de forma)	Mede a complexidade do formato da mancha. Para valores iguais a um significa que o fragmento é mais compacto possível (mancha regular) e aumenta sem limites (shape >1) quando a forma da unidade torna-se mais irregular. E quanto mais irregular, mais vulnerável a mancha se torna ao efeito de borda, conseqüentemente com implicações às espécies do interior das manchas (MCGARIGAL, 2014).
	SHAPE-MN (valor médio do índice de forma dos fragmentos da classe)	Valores menores indicam fragmentos de forma simples, benéfico à conservação (MCGARIGAL, 2001).

Tabela 6 – Descrição de cada métrica calculada para os quatro anos analisados
(conclusão)

		Métrica	Observação
Análise de área-nuclear		CORE (Área nuclear)	É a área interna (ha) de uma unidade na qual os efeitos de borda são minimizados ou inexistentes. CORE=0 quando toda a área da unidade encontra-se dentro da distância especificada da borda. CORE se aproxima da AREA com a diminuição da distância especificada da borda e com a simplificação da borda. É considerada uma medida forte de qualidade de habitat, pois apresenta uma visão do que está sendo conservado, pois seu cálculo representa o tamanho real do fragmento quando as áreas de bordas são reduzidas.
		CAI (índices de área nuclear)	porcentagem do fragmento que constitui a área nuclear. É uma medida baseada sobre os efeitos de borda especificados pelo usuário. CAI=0 quando CORE=0, ou seja, o fragmento não contém área nuclear. CAI se aproxima de 100 ao aumentar a área do fragmento.
		CAI-MN (índice de área nuclear médio)	Valores menores indicam maior efeito de borda, maléfico a conservação (MCGARIGAL, 2001).
		TCA/TCCA (área nuclear total remanescente)	É a soma das áreas centrais de toda a classe em hectares. Maiores valores de TCA indicam maior quantidade de área nuclear da classe, portanto menor influência da borda na classe (MCGARIGAL, 2001).
		CPLAND	Mesma interpretação, porém expressa em porcentagem (MCGARIGAL, 2001).
		NDCA (número de áreas nucleares)	Apesar de corresponder à área preservada dentro do fragmento, seu aumento significa o aumento da fragmentação florestal (MCGARIGAL, 2001).
		MCA (Área nuclear média)	Um dos principais efeitos da fragmentação é a conversão do habitat interior para o habitat de borda, pois com a fragmentação a área nuclear tende a reduzir (MCGARIGAL, 2001).

3.5 Conectividade

Nessa tese, os habitats de manchas individuais, representadas pela classe FN, são apresentados como nós e os caminhos, ou possibilidades para o movimento ou dispersão, são representados pelas ligações ou conexões que estão localizadas entre os nós.

3.5.1 Seleção das manchas de habitats

As manchas que representam os habitats foram formadas pelos fragmentos da classe FN localizados em toda a extensão da área de estudo. Para cada ano, foi

feita uma separação para todas as manchas FN. Para diminuir o tempo de processamento, foram excluídos todos os fragmentos menores que um hectare.

3.5.2 Superfície de custo

Primeiramente foram geradas quatro superfícies de custo, no formato raster, para os anos estudados (1986, 1997, 2005 e 2009). Essas superfícies são o cruzamento dos planos de informação – Pls dos mapas de uso e cobertura do solo, gerados anteriormente, com o PI de topografia representado pela declividade.

Esses Pls foram parametrizados, ou seja, classificados em uma escala unitária (números de um a nove), ponderados (de acordo com sua relevância) e combinados. Os valores de ordem um indicam que o custo do deslocamento através da célula é muito baixo, enquanto que um valor de ordem nove significa que o deslocamento através da célula é muito alto.

Para o mapa de uso e cobertura do solo foi definido que manchas com cobertura vegetal são superfícies que apresentam melhores áreas para o deslocamento de espécies, enquanto que áreas sem vegetação, como a classe DES representam o efeito contrário ao movimento de espécies. A escala adotada para as classes FN, REG e DES foram 1, 5 e 9, respectivamente. Para a declividade foi definido que os melhores locais são os lugares mais planos (plano=1 e escarpado=9). Adotou-se, arbitrariamente, os pesos (45% e 55%) para declividade e mapa de uso e cobertura, respectivamente.

3.5.3 Caminho de menor custo (*Least-cost path analysis*)

Para o cálculo da distância de menor-custo (*least-cost*), foram adotadas, as quatro superfícies de custo, geradas anteriormente.

É necessária a indicação dos fragmentos que representam a origem e destino. Portanto, a origem considerada foi a matriz, contida na FNT, que variou de acordo com os quatro anos estudados. Por outro lado, os destinos considerados foram todos os outros fragmentos de Floresta Nativa, no entorno da matriz, maiores que um hectare, que também variaram de acordo com os quatro anos estudados.

Esse caminho foi gerado numa plataforma SIG (ArcGis v.9.3) por meio da extensão *Spatial Analyst*.

3.5.4 Teoria do grafo

A distância limítrofe (dt) definida nessa tese foi de cinco quilômetros. Este valor representa a máxima distância que para um mamífero de grande porte é esperado viajar através dos não-habitat. Ressalta-se, que o valor a ser estabelecido depende das características da espécie focal. Por exemplo, a jaguatirica desloca-se 3,5 km em alguns tipos de áreas alteradas.

3.5.5 Conefor

Conefor é um sistema computacional que permite quantificar a importância de manchas de habitats e links para a manutenção ou aprimoramento da conectividade da paisagem, através de estruturas de grafo e índices de conectividade da paisagem (SAURA; TORNE, 2009). É uma ferramenta de suporte a decisão no planejamento da paisagem e conservação do habitat. Inclui vários índices (Tabela 7), porém os mais recomendados são o IIC (PASCUAL; SAURA, 2006) e o PC (SAURA; PASCUAL, 2007).

No sistema computacional Conefor, a conectividade é abordada sob uma perspectiva funcional, ou seja, as distâncias de dispersão e resposta comportamental dos indivíduos ou espécies para a estrutura física da paisagem (THEOBALD, 2006). A distância limítrofe, assumida nessa tese foi de cinco quilômetros, a qual foi considerada como a distância que permite a conexão entre duas manchas.

A entrada de dados é constituída de dois arquivos numéricos (ASCII ou bdf), que representam os nós e as conexões, sendo que há três tipos de conexão: distâncias, probabilidades e (ligações ou conexões).

Nesse estudo, as manchas de habitat (matriz e fragmentos florestais) foram consideradas como nós e as conexões foram representadas pela distância do menor custo (obtida pela extensão *Spatial Analyst*).

Para a análise da conectividade as manchas menores que 1ha foram excluídas com o objetivo de deixar menos trabalhoso o processo computacional.

3.5.5.1 Índices de conectividade

O sistema Conefor engloba nove índices que medem a conectividade funcional de diferentes maneiras. Os índices de conectividade utilizados e gerados pelo Conefor estão descritos na Tabela 7. Os maiores valores, sempre indicam as

melhores conectividades, com exceção do índice NC que tem uma interpretação oposta.

Tabela 7 – Índices de conectividade (BODIN; SAURA, 2010; SAURA; PASCUAL-HORTAL, 2007; SAURA; TORNE, 2012)

Métricas	Descrição e interpretação ecológica
NL (número de links)	Quanto maior o número de links numa paisagem, maior será sua conectividade.
NC (número de componentes)	Poucos componentes representam uma paisagem mais conectada.
IIC (índice integral de conectividade)	É o melhor índice binário de análise de conectividade. Usa estimativas de possibilidades para dispersão entre todos os pares de manchas.
PC (probabilidade de conectividade)	Também é considerado um dos melhores índices relacionados à disponibilidade de habitat. É definido como a probabilidade de dois pontos aleatórios colocados dentro de uma paisagem caírem 1) dentro da mesma mancha; ou 2) dentro de áreas de habitat que estão diretamente conectadas (interconectadas).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Quantificação do uso e cobertura do solo na paisagem

A área da Floresta Nacional do Tapajós - FNT e seu entorno foi classificada em cinco classes temáticas (Tabela 1), que resultaram em quatro análises temporais: 1986, 1997, 2005 e 2009 (Tabela 8).

Tabela 8 - Matriz de transição das subáreas analisadas (FNT, ZA e AI) em três períodos diferentes: 1986-1997, 1997-2005 e 2005-2009

CLASSE	1986	%	1997	%	2005	%	2009	%
a) Área de estudo (FNT+ZA+AI)								
AG	1.945,6	10,9	1.945,6	10,9	1.945,6	10,9	1.945,6	10,9
FN	14.068,8	78,7	12.900,5	72,2	11.794,1	66,0	11.356,0	63,6
REG	928,4	5,2	1.445,8	8,1	1.516,0	8,5	2.456,6	13,7
DES	888,3	5,0	1.548,6	8,7	2.577,9	14,4	2.082,3	11,7
CN	25,7	0,1	25,7	0,1	25,7	0,1	25,7	0,1
OU	10,6	0,1	1,1	0,0	8,1	0,0	1,1	0,0
TOTAL	17.867,4	100,0	17.867,4	100,0	17.867,4	100,0	17.867,4	100,0
b) Flona Tapajós – FNT								
AG	21,0	0,4	21,0	0,4	21,0	0,4	21,0	0,4
FN	5.280,7	96,1	5.191,1	94,5	5.135,1	93,5	5.109,4	93,0
REG	92,2	1,7	143,6	2,6	177,5	3,2	235,0	4,3
DES	98,0	1,8	136,3	2,5	158,2	2,9	125,9	2,3
CN	0,6	0,0	0,6	0,0	0,6	0,0	0,6	0,0
OU	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,6	0,0
TOTAL	5.492,6	100,0	5.492,6	100,0	5.492,6	100,0	5.492,6	100,0
c) Zona de Amortecimento – ZA								
AG	1.195,2	28,4	1.195,2	28,4	1.195,2	28,4	1.195,2	28,4
FN	2.368,7	56,4	1.966,9	46,8	1.655,6	39,4	1.526,6	36,3
REG	315,4	7,5	500,7	11,9	514,2	12,2	794,7	18,9
DES	320,2	7,6	537,8	12,8	835,6	19,9	684,2	16,3
CN	0,8	0,0	0,8	0,0	0,8	0,0	0,8	0,0
OU	1,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
TOTAL	4.201,5	100,0	4.201,5	100,0	4.201,5	100,0	4.201,5	100,0
d) Área de influência - AI								
AG	729,3	8,9	729,3	8,9	729,3	8,9	729,3	8,9
FN	6.419,0	78,5	5.742,1	70,3	5.003,1	61,2	4.719,7	57,7
REG	520,8	6,4	801,5	9,8	824,2	10,1	1.426,8	17,5
DES	470,0	5,8	874,5	10,7	1.584,0	19,4	1.272,2	15,6
CN	24,3	0,3	24,3	0,3	24,3	0,3	24,3	0,3
OU	9,4	0,1	1,1	0,0	7,8	0,1	0,6	0,0
TOTAL	8.172,8	100,0	8.172,8	100,0	8.172,8	100,0	8.172,8	100,0

Nota: AG=Corpos d'água, FN=Floresta Nativa, REG=Regeneração, DES=Desmatamento, CN=Campos Naturais, OU=Outros. A área está apresentada em km².

A área de estudo possui uma extensão territorial de 17.867,4km². A classe FN nos anos de 1986, 1997, 2005 e 2009, representava 78,7%; 72,2%; 66,0%; e 63,6%, respectivamente, indicando reduções gradativas das áreas com floresta nativa ao longo dos anos analisados; de 1986 a 2009 essas perdas foram da ordem de 15,0%. Esses valores podem evidenciar a redução de importantes serviços ecossistêmicos prestados pela FNT e seu entorno, tanto na provisão de taxas evapotranspiratórias, produção de biomassa, ciclagem de nutrientes no solo e, principalmente redução da diversidade folística nessa Unidade de Uso Sustentável - UCS. A classe REG apresentou valores de 5,2%; 8,1%; 8,5% e; 3,7%, enquanto a classe DES representou 5,0%; 8,7%; 14,4%; e 11,7%, indicando uma área com extensa cobertura florestal (Figura 9), mas que, nos últimos 23 anos, está perdendo área para as atividades antrópicas (REG e DES) na região (Tabela 8a).

A FNT, com 5.280,7 km², representa aproximadamente 31,0% de toda área. Ao considerá-la como uma subárea, verificou-se que sua cobertura florestal (classe FN) nos anos de 1986, 1997, 2005 e 2009, representava 96,1%; 94,5%; 93,5%; e 93,0%, respectivamente. A classe REG representava 1,7%; 2,6%; 3,2%; e 4,3%, enquanto a classe DES representava 1,8%; 2,5%; 2,9%; e 2,3%, indicando uma área predominantemente coberta pela classe FN e que, de uma forma geral, está perdendo algumas áreas para as atividades antrópicas, com seus maiores valores pertencentes à classe REG (Tabela 8b).

Estas atividades estão predominantemente localizadas na região ribeirinha, ao longo do Rio Tapajós, e na região ao longo da BR-163, limite leste da Flona (Figura 9), o que corrobora com estudos realizados por Cordeiro (2004).

A ZA, com 4.201,5km², representa aproximadamente 23,5% de toda área. Ao considerá-la como uma subárea, verificou-se que sua cobertura florestal (classe FN) nos anos de 1986, 1997, 2005 e 2009, representava 56,4%; 46,8%; 39,4%; e 36,3%, respectivamente. A classe REG representava 7,5%; 11,9%; 12,2%; e 18,9%, enquanto a classe DES representava 7,6%; 12,8%; 19,9%; e 16,3% indicando um aumento de áreas abandonadas e, ao mesmo tempo, um aumento das atividades agropecuárias (Tabela 8c) em detrimento das áreas de FN.

A AI, com 8.172,8km² representa, aproximadamente 45,8% de toda área. Ao considerá-la como uma subárea, verificou-se que sua cobertura florestal (classe FN) nos anos de 1986, 1997, 2005 e 2009, representava 78,5%; 70,3%; 61,2%; e 57,7%,

respectivamente. A classe REG representava 6,4%; 9,8%; 10,1%; e 17,5%, enquanto a classe DES representava 5,8%; 10,7%; 19,4%; e 15,6%.

Nas subáreas, ZA e AI, ao realizar-se a diferença entre o percentual das classes REG e DES verificou-se que seus valores eram similares, sendo que, os maiores valores relacionados ao uso ocorreram na subárea ZA, indicando maiores atividades antrópicas. Sendo que, o maior valor da classe DES ocorreu no ano de 2005, indicando que nessa subárea ocorreu a maior intensificação das atividades ligadas à agricultura e pecuária e/ou à queimada intensificada pela grande seca que atingiu a região em 2005 (DE VASCONCELOS et al., 2015).

Vale destacar que o maior valor da classe REG ocorreu em 2009, evidenciando efeitos de políticas públicas de combate ao desmatamento na Amazônia, ampliando-se as áreas em pousio, e/ou a regeneração de áreas atingidas pelo fogo no ano de 2005, consequência da grande seca que atingiu a região amazônica no ano de 2005.

Figura 9 – Uso e cobertura do solo da área de estudo, dos anos: 1986, 1997, 2005 e 2009, com a Floresta Nacional do Tapajós em destaque

4.2 Dinâmica de uso e cobertura do solo

4.2.1 Matriz de transição

Três matrizes de transição (Tabelas 9 a 11) foram geradas após a sobreposição dos mapas: 1986 com 1997; 1997 com 2005 e 2005 com 2009, para as três subáreas de estudo.

A metodologia foi aplicada para todas as classes presentes nas Tabelas (9, 10 e 11), porém os resultados expostos são apenas das classes FN, REG e DES, pois são as classes que apresentaram mudanças significativas em toda a área de estudo.

Tabela 9 – Matrizes de transição da Floresta Nacional do Tapajós - FNT, para os três intervalos de tempo: 1986-1997 (em negrito), 1997-2005 (fonte normal) e 2005-2009 (em itálico).

Ano ₁	Ano ₂						Total Ano ₁	Perda total
	AG	FN	REG	DES	CN	OU		
AG	23023	0	0	0	0	0	23023	0
	23023	0	0	0	0	0	23023	0
	23023	0	0	0	0	0	23023	0
FN	0	5767194	31649	67898	0	0	5866741	99547
	0	5705028	23201	38745	0	220	5767194	62166
	0	5676554	11218	16709	0	547	5705028	28474
REG	0	0	74579	28543	0	0	103122	28543
	0	0	110246	50000	0	0	160246	50000
	0	0	164501	32975	0	92	197568	33067
DES	0	0	54018	55267	0	0	109285	54018
	0	0	64121	87563	0	24	151708	64145
	0	0	85535	90772	0	1	176308	85536
CN	0	0	0	0	662	0	662	0
	0	0	0	0	662	0	662	0
	0	0	0	0	662	0	662	0
OU	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	241	3	0	0	244	244
Total Ano ₂	23023	5767194	160246	151708	662	0	6102833	182108
	23023	5705028	197568	176308	662	244	6102833	176311
	23023	5676554	261495	140459	662	640	6102833	147321
Ganho total	0	0	85667	96441	0	0	182108	
	0	0	87322	88745	0	244	176311	
	0	0	96994	49687	0	640	147321	

Nota: AG=Corpos d'água, FN=Floresta Nativa, REG=Regeneração, DES=Desmatamento, CN=Campos Naturais, OU=Outros

Tabela 10 – Matrizes de transição da Zona de Amortecimento - ZA para os três intervalos de tempo: 1986-1997 (em negrito), 1997-2005 (fonte normal) e 2005-2009 (em itálico).

Ano ₁	Ano ₂						Total Ano ₁	Perda total
	AG	FN	REG	DES	CN	OU		
AG	1328330	0	0	0	0	0	1328330	0
	1328330	0	0	0	0	0	1328330	0
	<i>1328330</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1328330</i>	<i>0</i>
FN	0	1838755	92002	253746	0	38	2184541	345786
	0	2184541	118734	327735	0	0	2631010	446469
	<i>0</i>	<i>1695417</i>	<i>56786</i>	<i>86552</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1838755</i>	<i>143338</i>
REG	0	0	282843	273814	0	2	556659	273816
	0	0	261977	88725	0	0	350702	88725
	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>451742</i>	<i>119800</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>571542</i>	<i>119800</i>
DES	0	0	196697	401157	0	45	597899	196742
	0	0	174963	181103	0	0	356066	174963
	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>374595</i>	<i>554122</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>928717</i>	<i>374595</i>
CN	0	0	0	0	905	0	905	0
	0	0	0	0	905		905	0
	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>905</i>		<i>905</i>	<i>0</i>
OU	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	985	336	0	0	1321	1321
	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>79</i>	<i>6</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>85</i>	<i>85</i>
Total Ano ₂	1328330	1838755	571542	928717	905	85	4668334	816344
	1328330	2184541	556659	597899	905	0	4668334	711478
	<i>1328330</i>	<i>1695417</i>	<i>883202</i>	<i>760480</i>	<i>905</i>	<i>0</i>	<i>4668334</i>	<i>637818</i>
Ganho total	0	0	288699	527560	0	85	816344	
	0	0	294682	416796	0	0	711478	
	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>431460</i>	<i>206358</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>637818</i>	

Nota: AG=Corpos d'água, FN=Floresta Nativa, REG=Regeneração, DES=Desmatamento, CN=Campos Naturais, OU=Outros

Tabela 11 – Matrizes de transição da Área de Influência - AI para os três intervalos de tempo: 1986-1997 (em negrito), 1997-2005 (fonte normal) e 2005-2009 (em itálico).

Ano ₁	Ano ₂						Total Ano ₁	Perda total
	AG	FN	REG	DES	CN	OU		
AG	810393	0	0	0	0	0	810393	0
	810393	0	0	0	0	0	810393	0
	<i>810393</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>810393</i>	<i>0</i>
FN	0	6380301	182244	569056	0	1061	7132662	752361
	0	5559380	192471	626180	0	2492	6380523	821143
	<i>0</i>	<i>5244444</i>	<i>112201</i>	<i>202194</i>	<i>0</i>	<i>541</i>	<i>5559380</i>	<i>314936</i>
REG	0	0	423116	155543	0	13	578672	155556
	0	0	405260	481204	0	4168	890632	485372
	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>728907</i>	<i>186939</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>915846</i>	<i>186939</i>
DES	0	0	278268	243903	0	145	522316	278413
	0	0	317265	652364	0	2053	971682	319318
	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>740659</i>	<i>1019424</i>	<i>0</i>	<i>90</i>	<i>1760173</i>	<i>740749</i>
CN	0	0	0	0	26953	0	26953	0
	0	0	0	0	26953		26953	0
	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>26953</i>		<i>26953</i>	<i>0</i>
OU	0	0	7226	3180	0	56	10462	10406
	0	0	850	425	0	0	1275	1275
	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>3662</i>	<i>5051</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>8713</i>	<i>8713</i>
Total Ano ₂	810393	6380301	890854	971682	26953	1275	9081458	1196736
	810393	5559380	915846	1760173	26953	8713	9081458	1627108
	<i>810393</i>	<i>5244444</i>	<i>1585429</i>	<i>1413608</i>	<i>26953</i>	<i>631</i>	<i>9081458</i>	<i>1251337</i>
	0	0	467738	727779	0	1219	1196736	
Ganho total	0	0	510586	1107809	0	8713	1627108	
	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>856522</i>	<i>394184</i>	<i>0</i>	<i>631</i>	<i>1251337</i>	

Nota: AG=Corpos d'água, FN=Floresta Nativa, REG=Regeneração, DES=Desmatamento, CN=Campos Naturais, OU=Outros

4.2.2 Tipos de mudanças para cada intervalo de tempo

As mudanças são expressas em termos de perdas e ganhos, permuta de mudança e mudança líquida (ANEXO A, B e C), as quais permitem o detalhamento das mudanças ocorridas entre as subáreas estudadas, além de possibilitar compará-las quanto aos padrões de mudança ocorridas num mesmo período. Estas informações estão organizadas por subáreas: a) Floresta Nacional do Tapajós – FNT; b) Zona de amortecimento – ZA; e c) Área de influência – AI.

4.2.2.1 Primeiro período: 1986 e 1997

Na subárea FNT, as três classes analisadas ocupavam 99,6%, desta unidade (ANEXO A), o restante pertencia às classes AG, CN e OU. No primeiro ano analisado (1986) a FN ocupava aproximadamente 96,1% da área, com as classes REG e DES ocupando respectivamente (1,7% e 1,8%). No segundo ano (1997) a FN ocupava aproximadamente 94,5% da UC, com as classes REG e DES ocupando respectivamente (2,6% e 2,5%). Ao analisar conforme a metodologia tradicional, as maiores mudanças seriam para as classes FN, REG e DES com 1,6%; 0,9%; e 0,7%, respectivamente. Porém, ao analisar os componentes (ganhos e perdas) e (permuta e mudança líquida), verificou-se que as maiores mudanças (mudanças totais) ocorreram nas classes DES, REG e FN, com 2,5%; 1,8%; e 1,6%, respectivamente, indicando que as maiores perdas foram causadas pelo desmatamento.

Com o resultado desses componentes, verificou-se que a classe REG teve um ganho em área, cerca de três vezes maior que a perda (1,4 e 0,5), enquanto que a classe DES sofreu um aumento cerca de duas vezes maior que a perda (1,6 e 0,9), respectivamente. Porém, a classe DES teve uma permuta de mudança, superior a duas vezes sua mudança líquida indicando que 1,8% de antigas áreas de regeneração (REG) ou floresta nativa (FN) foram desmatadas, ou seja, perdidas para o desmatamento (DES).

Na ZA, as três classes analisadas ocupavam aproximadamente 71,5% desta subárea (ANEXO A). O restante pertencia às classes AG (28,0%) e OU. A alta porcentagem da classe AG é devida ao rio Tapajós, um dos principais rios da região e um dos pontos de acesso à FNT. No primeiro ano analisado (1986), a FN ocupava aproximadamente 56,4% da área, com REG e DES ocupando 8,0%, cada. No segundo ano (1997) a FN ocupava aproximadamente 46,8% da área, com REG e DES ocupando respectivamente 12,0% e 13,0%. Ao analisar conforme a metodologia tradicional, as maiores mudanças (mudança líquida) seriam para as classes FN, DES e REG com 9,6%; 5,2%; e 4,4%, respectivamente. Porém, ao analisar os componentes (ganhos e perdas) e (permuta e mudança líquida), verificou-se que as maiores mudanças (mudanças totais) ocorreram nas classes DES, FN e REG, com 12,7%; 9,6%; e 8,2%, respectivamente.

Com o resultado desses componentes, verificou-se que a classe REG teve um ganho em área, superior a três vezes sua perda (6,3 e 1,9), enquanto que a classe DES sofreu um aumento cerca de duas vezes maior que a perda (8,9 e 3,7), respectivamente. Além disso, a classe DES, teve uma permuta de mudança, superior a sua mudança líquida indicando que 7,5% de antigas áreas de regeneração (REG) ou floresta nativa (FN) foram desmatadas, ou seja, perdidas para o desmatamento (DES).

Na AI, as três classes analisadas ocupavam aproximadamente 91,0%, desta subárea (ANEXO A). No primeiro ano analisado (1986), a classe FN ocupava aproximadamente 78,5% da área, com REG e DES, ambos ocupando 6,0%, aproximadamente. No segundo ano, a FN ocupava aproximadamente 70,0% da área, com REG e DES ocupando respectivamente (10,0% e 11,0%). Ao analisar conforme a metodologia tradicional, as maiores mudanças (mudança líquida) seriam (8,3%; 4,9% e 3,4%) para as classes FN, DES e REG, respectivamente. Porém, ao analisar os componentes (ganhos e perdas) e (permuta e mudança líquida), verificou-se que as maiores mudanças (mudanças totais) ocorreram nas classes DES, FN e REG, com 11,1%; 8,3%; e 6,9%, respectivamente.

Dessa maneira, a classe REG e DES tiveram aumentos aproximados a três vezes suas perdas. Além disso, a classe DES teve uma permuta de mudança, superior a sua mudança líquida, indicando que 6,1% de antigas áreas de de regeneração (REG) ou floresta nativa (FN) foram desmatadas, ou seja, perdidas para o desmatamento (DES).

Ao comparar-se as três subáreas, nesse período (Figura 10), verificou-se que:

Houve uma dinâmica de uso diferente na FNT, pois os componentes de mudança, nessa subárea, apresentaram valores reduzidos em comparação às subáreas ZA e AI, indicando a efetividade desta UC na contenção do desmatamento em seu interior. No entanto, houve ocorrência de atividades antrópicas (aumento de ganhos), indicando perdas na classe FN que podem estar relacionadas à retirada de espécies madeireiras na Floresta Nacional do Tapajós. Neste período a exploração madeireira ainda não era realizada de maneira sustentável (PINTO, 2015).

As maiores mudanças ocorreram nas subáreas ZA e AI, causadas predominantemente, pela classe DES, em especial na subárea ZA (Figura 10). Ressalta-se que nesse período, o manejo florestal madeireiro não possuía ampla disseminação, principalmente na Amazônia (PINTO, 2015). Além disto, percebe-se

que na zona de amortecimento – ZA, as práticas de uso do solo adotadas não eram diferentes das práticas adotadas na área de influência – AI.

Verificou-se que o desmatamento (classe DES) apresentou em todas as subáreas a predominância do componente permuta de mudança, indicando que determinadas áreas que foram desmatadas no início do período (ano de 1986) encontravam-se abandonadas no final do período (ano de 1997), porém novas áreas de mesmo tamanho foram abertas, ou em áreas de regeneração ou em áreas de floresta nativa.

Figura 10 – Análise comparativa dos diferentes tipos de mudança ocorridas nas subáreas: Floresta Nacional do Tapajós - FNT, Zona de amortecimento - ZA e Área de influência - AI, no primeiro período analisado (1986-1997)

4.2.2.2 Segundo período: 1997 e 2005

Na subárea FNT, as três classes analisadas ocupavam 99,6%, desta unidade (ANEXO B), o restante pertencia às classes AG, CN e OU. No primeiro ano analisado (1997) a classe FN ocupava aproximadamente 94,5% da área, com REG e DES ocupando ambas, aproximadamente 2,5%. No segundo ano (2005) a FN ocupava aproximadamente 93,5% da área, com REG e DES ocupando ambas, respectivamente 3,0%. Ao analisar conforme a metodologia tradicional, as maiores

mudanças seriam para as classes FN, REG e DES, com 1,0%; 0,6%; e 0,4%, respectivamente. Porém, ao analisar os componentes (ganhos e perdas) e (permuta e mudança líquida), verificou-se que as maiores mudanças (mudanças totais) ocorreram nas classes DES, REG e FN com 2,5; 2,2%; e 1,0%, respectivamente.

Com o resultado desses componentes, verificou-se que a classe REG e DES tiveram mais ganhos que perdas, com a REG obtendo a maior proporção (aproximadamente duas vezes mais ganhos que perdas). Além disso, a classe DES, teve uma permuta de mudança, superior a cinco vezes sua mudança líquida, indicando que 2,1% de antigas áreas de regeneração (REG) ou floresta nativa (FN) foram desmatadas, ou seja, perdidas para o desmatamento (DES).

Na ZA, as três classes analisadas ocupavam aproximadamente 71,5%, desta subárea (ANEXO B). No primeiro ano analisado (1997), a classe FN ocupava 46,8%, com REG e DES ocupando respectivamente 2,0% e 13,0%. Ao analisar conforme a metodologia tradicional, as maiores mudanças (mudança líquida) seriam para as classes FN, DES e REG, com 7,4%; 7,1%; e 0,3%, respectivamente. Além disso, ao analisar os componentes (ganhos e perdas) e (permuta e mudança líquida), verificou-se que as maiores mudanças (mudanças totais) ocorreram nas classes DES, REG e FN, respectivamente (15,5%; 12,0%; e 7,4%), reforçando a pressão antrópica nas áreas em regeneração e com floresta nativa.

Com o resultado desses componentes, verificou-se que as classes REG e DES tiveram mais ganhos do que perdas, com a classe DES obtendo três vezes mais ganhos que perdas. Também, os resultados apontaram que na classe REG houve uma permuta de mudança, superior a 36 vezes sua mudança líquida, indicando que algumas áreas desmatadas anteriormente, foram abandonadas, indicando possíveis efeitos de queda de produtividade em áreas anteriormente antropizadas pela pecuária ou agricultura.

Na AI as três classes analisadas ocupavam aproximadamente 91,0%, dessa subárea (ANEXO B). No primeiro ano analisado (1997) a classe FN ocupava 70,0%, com REG e DES ocupando respectivamente 9,8% e 10,7%. No ano final (2005) a classe FN ocupava 61,2%, com REG e DES ocupando, respectivamente 10,1% e 19,4%. Ao analisar conforme a metodologia tradicional, as maiores mudanças (mudança líquida) seriam para as classes FN, DES e REG, com 9,4%; 8,7%; e 0,3%, respectivamente. Além disso, ao analisar os componentes (ganhos e perdas) e (permuta e mudança líquida), verificou-se que as maiores mudanças (mudanças

totais) ocorreram nas classes DES, REG e FN, respectivamente, com 15,7%; 11,0% e 9,0%.

Com o resultado desses componentes, verificou-se que as classes REG e DES tiveram mais ganhos do que perdas, com a classe DES obtendo três vezes mais ganhos. Além disso, a classe REG, apresentou uma permuta de mudança, superior a 38 vezes a sua mudança líquida, indicando possíveis efeitos de queda de produtividade em áreas anteriormente antropizadas pela pecuária ou agricultura.

Ao comparar-se as três subáreas, nesse período (Figura 11), verificou-se que:

Houve uma dinâmica de uso diferente na FNT, pois os componentes de mudança, nessa subárea, apresentaram valores reduzidos em comparação às subáreas ZA e AI. No entanto, houve ocorrência de atividades antrópicas (aumento de ganhos), indicando perdas na classe FN que podem estar relacionadas à retirada de espécies madeireiras na Floresta Nacional do Tapajós. Neste período, a gestão e o planejamento desta unidade como modelo de gestão participativa ainda não estava concluído (PINTO, 2015).

As maiores mudanças ocorreram nas subáreas ZA e AI, causadas pela classe DES e REG, sendo que a maior mudança na classe FN ocorreu na subárea AI.

Verificou-se que a regeneração (classe REG) apresentou em todas as subáreas a predominância do componente permuta de mudança, indicando que determinadas áreas que encontravam-se abandonadas no início do período (ano de 1997) foram desmatadas no final do período (ano de 2005), e/ou que determinadas áreas em regeneração foram atingidas pelo fogo, ocasionado pelo efeito de seca extrema ocorrida no ano de 2005. Ao mesmo tempo, áreas que no início do período estavam desmatadas, encontravam-se abandonadas no final do período, ou seja, uma realocação espacial.

Ressalta-se que a BR-163 encontra-se nesta subárea, corroborando estudos que indicam que as estradas são fatores determinantes para a conversão do uso e cobertura do solo na paisagem (AHMED et al., 2013; FEARNSIDE, 1995).

Figura 11 – Análise comparativa dos diferentes tipos de mudança ocorridas nas subáreas: Floresta Nacional do Tapajós - FNT, Zona de amortecimento - ZA e Área de influência - AI, no segundo período analisado (1997-2005)

4.2.2.3 Terceiro período: 2005 e 2009

Na subárea FNT, as três classes analisadas ocupavam 99,6%, desta unidade (ANEXO C), o restante pertencia às classes AG, CN e OU. No primeiro ano analisado (2005) a classe FN ocupava aproximadamente 93,5% da área, com REG e DES ocupando 3,2% e 2,9%, respectivamente. No segundo ano (2009) a FN ocupava aproximadamente 93,0% da área, com REG e DES ocupando 4,3% e 2,3%, respectivamente. Aplicando a metodologia tradicional, as maiores mudanças seriam para as classes REG, DES e FN, com 1,0%; 0,6%; e 0,4%, respectivamente. Porém, ao analisar os componentes (ganhos e perdas) e (permuta e mudança líquida), verificou-se que as maiores mudanças (mudanças totais) ocorreram nas classes DES, REG e FN com 2,2%; 2,0%; e 0,5%, respectivamente.

Com o resultado desses componentes, verificou-se que a classe REG teve um ganho em área, cerca de três vezes maior que a perda (1,6 e 0,5), enquanto que a classe DES sofreu uma redução, cerca de duas vezes maior que o ganho (0,8 e 1,4), respectivamente. Porém, a classe DES, teve uma permuta de mudança de aproximadamente três vezes sua mudança líquida, indicando que 1,6% de antigas

áreas de regeneração (REG) ou floresta nativa (FN) foram desmatadas, ou seja, perdidas para o desmatamento (DES).

Na ZA as três classes analisadas ocupavam aproximadamente 71,5% desta subárea (ANEXO C). No primeiro ano analisado (2005) a classe FN ocupava 39,4%, com REG e DES ocupando, respectivamente, 12,2% e 19,9%. No segundo ano analisado (2009), a classe FN ocupava 36,3%, com REG e DES ocupando respectivamente 18,9% e 16,3%. Aplicando a metodologia tradicional, as maiores mudanças (mudança líquida) seriam para as classes REG, DES e FN com 6,7%; 3,6% e 3,1%, respectivamente. Além disso, ao analisar os componentes (ganhos e perdas) e (permuta e mudança líquida), verificou-se que as maiores mudanças (mudanças totais) ocorreram nas classes DES, REG e FN, respectivamente 12,4%; 11,8%; e 3,1%.

Com o resultado desses componentes, verificou-se que a classe REG teve aproximadamente quatro vezes mais ganhos que perdas, enquanto que a classe DES apresentou, aproximadamente, duas vezes mais perdas que ganhos. Também, os resultados apontaram que classe DES teve uma permuta de mudança superior a duas vezes sua mudança líquida.

Na AI as três classe analisadas ocupavam aproximadamente 91,0%, dessa subárea (ANEXO C). No primeiro ano analisado (2005), a classe FN ocupava 61,2%, com REG e DES ocupando, respectivamente 10,0% e 19,4%. No ano final (2009), a classe FN ocupava 57,7%, com REG e DES ocupando, respectivamente, 17,5% e 9,4%. Aplicando a metodologia tradicional, as maiores mudanças (mudança líquida) seriam para as classes REG, DES e FN com 7,4%; 3,8%; e 3,5%, respectivamente. Além disso, ao analisar os componentes (ganhos e perdas) e (permuta e mudança líquida), verificou-se que as maiores mudanças (mudanças totais) ocorreram nas classes DES, REG e FN com 12,5%; 11,5%; e 3,5%, respectivamente.

Com o resultado desses componentes, verificou-se que a classe REG teve aproximadamente cinco vezes mais ganhos que perdas, enquanto que a classe DES apresentou, aproximadamente, duas vezes mais perdas que ganhos. Além disso, a classe DES teve uma permuta de mudança superior a duas vezes sua mudança líquida.

Ao comparar-se as três subáreas (Figura 12), verificou-se que:

Houve uma dinâmica de uso diferente na FNT, pois os componentes de mudança, nessa subárea, apresentaram valores reduzidos em comparação às

subáreas ZA e AI. No entanto, houve ocorrência de atividades antrópicas (aumento de ganhos), com as maiores mudanças ocorridas entre as classes DES e REG, com a menor mudança ocorrida na classe FN, indicando a menor perda de floresta nativa entre os períodos. Neste período houve a aprovação de forma definitiva do desenvolvimento do manejo comunitário durante 30 anos pela COOMFLONA (PINTO, 2015).

As maiores mudanças ocorreram nas subáreas ZA e AI, causadas pela classe DES e REG. Verificou-se que o desmatamento (classe DES) apresentou em todas as subáreas a predominância do componente permuta de mudança, indicando que determinadas áreas que foram desmatadas no início do período encontravam-se abandonadas no final do período, porém novas áreas de mesmo tamanho foram abertas, ou em áreas de regeneração ou em áreas de floresta nativa.

Figura 12 – Análise comparativa dos diferentes tipos de mudança ocorridas nas subáreas: Floresta Nacional do Tapajós - FNT, Zona de amortecimento - ZA e Área de influência - AI, no terceiro período analisado (2005-2009)

Ressalta-se que, na FNT, a mudança líquida sempre indicava que a classe FN tinha um aumento superior às outras classes, exceto no terceiro período. Ao analisar-se as mudanças por meio de seus componentes, foi possível a percepção

das diferenças entre as mudanças ocorridas na área de estudo, indicando que em todos os períodos, a dinâmica dos padrões de uso e cobertura do solo foi predominada pela classe DES, seguida da classe REG.

4.2.3 Persistência do uso e cobertura

A persistência de uso e cobertura do solo indicou que a classe FN, localizada na FNT, encontrava-se protegida, em todos os períodos analisados em comparação às atividades de seu entorno.

Tabela 12 – Razão entre perda/persistência e ganho/persistência das classes de uso e cobertura do solo nas três áreas de estudo: Floresta Nacional do Tapajós - FNT, Zona de amortecimento - ZA e Área de influência – AI

	l_p			g_p		
	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI
FN	0,02	0,20	0,12	-	-	-
	0,01	0,19	0,15	-	-	-
	<i>0,01</i>	<i>0,08</i>	<i>0,06</i>	-	-	-
	0,38	0,34	0,37	1,15	1,12	1,11
REG	0,45	0,97	1,20	0,79	1,02	1,26
	<i>0,20</i>	<i>0,27</i>	<i>0,26</i>	<i>0,59</i>	<i>0,96</i>	<i>1,18</i>
	0,98	0,97	1,14	1,75	2,30	2,98
	0,73	0,49	0,49	1,01	1,32	1,70
DES	<i>0,94</i>	<i>0,68</i>	<i>0,73</i>	<i>0,55</i>	<i>0,37</i>	<i>0,39</i>

Nota: Os valores em negrito representam o primeiro período analisado, os valores em fonte normal representam o segundo período analisado e os valores em itálico representam o terceiro período analisado.

4.2.3.1 Primeiro período: 1986 e 1997

Os valores de l_p evidenciam que a classe FN apresenta padrões diferentes nas três áreas estudadas. Dentro da FNT, a FN tem alta tendência a persistir (0,02), indicando que ela encontrava-se protegida, enquanto que na ZA há maiores chances de perder (20,0%) do que na AI (12,0%) indicando uma vulnerabilidade maior na subárea ZA. As chances de perda da ordem de 20% na área de jurisdição da COOMFLONA reforçam que os serviços ecossistêmicos prestados pela Floresta Nativa estão sendo reduzidos, ameaçando a manutenção da Flona Tapajós ao longo dos anos.

A classe REG apresentou seus maiores valores na razão g_p (1,1 em todas as áreas), indicando vulnerabilidade de transição para outras classes, enquanto que a classe DES, assim como a classe REG, apresentou seus maiores valores na razão g_p (1,7; 2,3 e 3,0), com diferentes padrões nas três áreas. Portanto, entre os usos analisados, a classe DES, relacionada às atividades agropecuárias, foi o maior indicador de mudança neste período.

4.2.3.2 Segundo período: 1997 e 2005

Os valores de l_p evidenciam que a classe FN apresenta padrões diferentes na FNT e em suas áreas de entorno. Na FNT a classe FN continua com alta tendência à persistência (0,01), enquanto que na subárea ZA as chances de perda foi de 20,0%, e as chances de perda na subárea AI foi de 19,0%, indicando similaridade, no processo de mudança, entre as áreas.

A classe REG apresentou seus maiores valores na razão g_p (0,9; 1,0; e 1,3) com a subárea AI apresentando a maior tendência para a transição (1,3), o mesmo padrão ocorreu na classe DES (1,0; 1,3; e 1,7) com a subárea AI apresentando a maior tendência para a transição (1,7).

4.2.3.3 Terceiro período: 2005 e 2009

A classe FN apresentou maiores tendências à persistência nas três áreas analisadas, sendo que a menor persistência encontra-se na ZA (8,0%). Esta estabilidade pode estar relacionada às atividades inseridas a partir do ano de 2005, com a aprovação do desenvolvimento do manejo comunitário pela COOMFLONA (PINTO, 20015) e a criação do Plano BR-163 Sustentável, em 2004.

A classe REG, apresentou maiores valores (0,6; 1,0 e 1,2) na razão g_p , sendo que a maior tendência a este tipo de transição encontra-se na AI. Percebe-se que a FNT continua mantendo as menores tendências à transição.

Na classe DES, os maiores valores (0,9; 0,7; e 0,7) foram encontrados na razão l_p , diferente dos padrões anteriores, sendo que a maior tendência à transição, foi encontrada na FNT, o que também difere dos outros padrões.

4.2.4 Detecção das transições sistemáticas e aleatórias

Nos resultados indicados nos ANEXOS (D, E, F), os elementos da diagonal principal (em negrito) representam as persistências das classes durante cada período analisado. Os elementos fora da diagonal principal representam as transições das classes observadas e esperadas. As transições mais significativas estão indicadas no ANEXO G.

4.2.4.1 Primeiro período: 1986 e 1997

A partir dos resultados dos ganhos e perdas esperadas, caso o processo de transição fosse determinado por processos aleatórios (ANEXO D) e dos resultados da diferença entre os valores observados e esperados, em termos de ganhos e perdas (ANEXO G), verificou-se que:

Na FNT, a transição da classe FN para outras classes ocorreu por processos sistemáticos, o que corrobora com as atividades de subsistência, realizadas pelos moradores da FNT, sendo que o sinal de transição sistemática mais forte (-0,85), ocorreu na transição da classe FN para a classe REG, ou seja, quando a classe REG ganhou áreas ela não substituiu a classe FN, indicando que a classe REG substituiu a classes DES. O sinal mais forte de transição sistemática da classe REG para a classe DES (0,46), indicou que a classe REG perde para a classe DES numa taxa 38 vezes maior que poderia ser esperado se a classe DES tivesse ganhos gerados por processos aleatórios. Por outro lado, o sinal mais forte de transição sistemática, da classe DES para a classe REG (0,86), ocorreu em ambos, ganhos esperados e perdas esperadas por processos aleatórios.

Na ZA, a transição sistemática mais forte foi a conversão da classe FN para a classe DES (4,72), indicando que a classe FN perdeu sistematicamente para a classe DES, seguida da conversão da classe DES para a classe REG (3,24), indicando que a classe DES perdeu sistematicamente para a classe REG.

Na AI, a transição sistemática mais forte, também foi a conversão da classe FN para a classe DES (3,29), indicando que a classe FN perdeu sistematicamente para a classe DES, seguida da conversão da classe DES para a classe REG (2,75), indicando que a classe DES ganha sistematicamente da classe REG.

4.2.4.2 Segundo período: 1997 e 2005

A partir dos resultados dos ganhos e perdas esperadas, caso o processo de transição fosse determinado por processos aleatórios (ANEXO E) e dos resultados da diferença entre os valores observados e esperados, em termos de ganhos e perdas (ANEXO G), verificou-se que:

Na FNT, o processo sistemático predominante é a perda (1,02) e ganho (1,01) da classe DES para a classe REG, indicando que a classe DES perde sistematicamente para a classe REG, ao mesmo tempo que a classe REG ganha sistematicamente da classe DES.

Na ZA, a transição sistemática mais forte foi a conversão da classe REG para a classe DES, em ambos, ganhos (4,32) e perdas aleatórias (4,54), indicando que a classe DES ganha sistematicamente da classe REG, e que a classe REG perde sistematicamente para a classe DES.

Na AI, a transição sistemática mais forte, também foi a conversão da classe REG para a classe DES, em ambos, ganhos (3,96) e perdas (4,15), indicando que, que a classe DES ganha sistematicamente da classe REG, e que a classe REG perde sistematicamente para a classe DES.

Portanto, neste período as subáreas ZA e AI tiveram o mesmo padrão de mudança sistemática, relacionadas a classe DES, enquanto que o padrão sistemático na subárea FNT foi para a classe REG.

4.2.4.3 Terceiro período: 2005 e 2009

A partir dos resultados dos ganhos e perdas esperadas, caso o processo de transição fosse determinado por processos aleatórios (ANEXO F) e dos resultados da diferença entre os valores observados e esperados, em termos de ganhos e perdas (ANEXO G), verificou-se que:

Na FNT, o processo sistemático predominante é a perda (1,34) e ganho (1,35) da classe DES para a classe REG, indicando que a classe DES perde sistematicamente para a classe REG, ao mesmo tempo que a classe REG ganha sistematicamente da classe DES, ou seja, a conversão mais forte ocorreu para a classe REG.

Na ZA, o processo sistemático predominante é a perda (6,21) e ganho (5,93) da classe DES para a classe REG, indicando que a classe DES perde

sistematicamente para a classe REG, ao mesmo tempo que a classe REG ganha sistematicamente da classe DES, ou seja, a conversão mais forte ocorreu para a classe REG.

Na AI, o processo sistemático predominante é a perda (6,47) e ganho (6,12) da classe DES para a classe REG, indicando que a classe DES perde sistematicamente para a classe REG, ao mesmo tempo que a classe REG ganha sistematicamente da classe DES, ou seja, a conversão mais forte ocorreu para a classe REG. Portanto, no terceiro período, em todas as subáreas, o sinal mais forte de transição sistemática foi na classe REG, indicando a possibilidade de recuperação de áreas queimadas no período inicial (2005) devido a grande seca ocorrida neste ano.

4.2.5 Análise de intensidade de mudança

Com a formação da matriz de transição para cada intervalo de tempo, foi possível analisar as mudanças em termos de tamanho e intensidade em dois níveis de análise para as três subáreas, FNT, ZA e AI. Porém, torna-se necessária a descrição da interpretação das Figuras (13 a 18). Uma abordagem adotada por Aldwaik e Pontius Jr. (2012), que também foi adotada nesta tese: em nível de intervalo, o eixo vertical central das figuras representa os intervalos de tempo. Cada barra horizontal que se estende à esquerda do eixo vertical representa o tamanho total da mudança para um intervalo. Mas, ao analisar somente a mudança total, deixa-se de considerar o fato de que, diferentes intervalos, têm diferentes durações. Para solucionar este problema, é considerada a intensidade da taxa de mudança anual. Portanto, cada barra que se estende à direita do eixo vertical indica essa intensidade. A linha vertical tracejada à direita do eixo vertical é chamada de linha uniforme – U. Se uma barra de intensidade termina à esquerda de U, então a mudança é relativamente lenta para aquele intervalo de tempo. Se a barra de intensidade se estende à direita de U, então a mudança é relativamente rápida para aquele intervalo. Se a taxa anual de mudança total para cada intervalo for perfeitamente estacionária, então cada barra de intensidade irá terminar em U. A mesma interpretação foi realizada para os resultados em nível de categoria, sendo que a diferença está em categorizar a classe em mais ativa ou menos ativa.

4.2.5.1 Floresta Nacional do Tapajós – FNT

4.2.5.1.1 Nível de Intervalo

Ao analisar o lado esquerdo da Figura 13, verificou-se que a maior mudança ocorreu no segundo período (1997-2005) e que o primeiro e terceiro períodos apresentaram valores similares 2,3% e 2,4%. Mas, ao analisar o lado direito desse gráfico, percebe-se a diferença na intensidade dessas mudanças. O primeiro período foi marcado por uma menor intensidade, visto que, a barra de intensidade está à esquerda de U, enquanto que, no segundo período, a taxa anual de mudança foi perfeitamente estacionária, e no terceiro período a intensidade de mudança foi relativamente alta, indicando que algum fator externo se intensificou no último período. Entre os fatores externos está a melhoria da infra-estrutura da rodovia BR-163.

Figura 13 – Análise de intensidade em nível de intervalo, para a Floresta Nacional do Tapajós, nos três intervalos estudados: 1986-1997; 1997-2005 e 2005-2009. As barras que estão à esquerda do zero representam a área total de mudança em cada intervalo, enquanto as barras que estão à direita do zero representam a intensidade anual de mudança dentro de cada intervalo de tempo

4.2.5.1.2 Nível de categoria

Em nível de categoria, o lado esquerdo da Figura 14 aponta que a classe FN teve a maior taxa anual de mudança (em termos de perda) no primeiro período; enquanto a classe REG teve sua maior taxa de mudança anual (em termos de ganho) no terceiro período, o mesmo aconteceu com a classe DES, mas a mudança foi em termos de perda. De forma geral, as maiores mudanças (ganhos e perdas), entre os intervalos, aconteceram no terceiro período.

Ao analisar o lado direito dessa figura, verificou-se que a classe FN é a única classe, considerada menos ativa. Por ser um processo relacionado a perda, este resultado pode estar relacionado ao fato da classe FN estar inserida numa UC, sob normas específicas de uso e manejo florestal. As outras categorias (REG e DES) apresentaram grandes mudanças, especialmente no terceiro período. Novamente evidenciando maior perda em relação às áreas desmatadas (DES). Neste período foi criado o Instituto Chico Mendes de Biodiversidade - ICMBio, no ano de 2007, indicando que o aumento na classe REG, refletiu os efeitos de um conjunto de políticas relacionadas com a gestão territorial e conservação da Floresta Nacional do Tapajós, juntamente com os comunitários.

Figura 14 – Análise comparativa de intensidade em nível de categoria, na Floresta Nacional do Tapajós - FNT, nos três períodos analisados: 1986 e 1997; 1997 e 2005 e 2005 e 2009

4.2.5.2 Zona de amortecimento – ZA

4.2.5.2.1 Nível de intervalo

Ao analisar o lado esquerdo da Figura 15, verificou-se que a maior mudança (17,5%) ocorreu no primeiro período (1986-1997), seguido pelo segundo período (15,2%). Mas, ao analisar o lado direito desse gráfico, verificou-se a diferença na intensidade anual dessas mudanças. O primeiro e segundo períodos foram marcados por uma menor intensidade, visto que a barra de intensidade está à esquerda de U, enquanto que, no terceiro período, a taxa anual de mudança foi relativamente maior, indicando que algum fator externo se intensificou no último período. Entre os fatores externos está a melhoria da infra-estrutura da rodovia BR-163.

Figura 15 – Análise de intensidade em nível de intervalo, na Zona de amortecimento - ZA, nos três intervalos estudados: 1986-1997; 1997-2005 e 2005-2009. As barras que estão à esquerda do zero representam a área total de mudança em cada intervalo, enquanto as barras que estão à direita do zero representam a intensidade anual de mudança dentro de cada intervalo de tempo

4.2.5.2.2 Nível de categoria

Em nível de categoria, o lado esquerdo da Figura 16 indicou que a classe FN teve a maior taxa anual de mudança (em termos de perda) no segundo período, enquanto a classe REG teve sua maior taxa de mudança anual (em termos de ganho) no terceiro período. O mesmo aconteceu com a classe DES, mas a mudança foi em termos de perda. De forma geral, as maiores mudanças (ganhos e perdas), entre os intervalos, aconteceram no terceiro período.

Ao analisar o lado direito dessa figura, verificou-se que a classe FN mostrou-se mais ativa, apenas no segundo período.

Assim como na FNT, as maiores mudanças anuais aconteceram no terceiro período, com destaque para a classe REG, em que foi obtido o maior valor anual de mudança (em termos de ganho), enquanto a classe DES apresentou as maiores mudanças anuais (em termos de perda). Ambos, num processo de intensas atividades, representada pela ultrapassagem das barras, além de U, indicando um processo ativo de ganhos e perdas, reforçando possíveis efeitos de redução do desmatamento em função de políticas públicas como “desmatamento zero”, ou ações positivas de combate ao desmatamento na região.

Figura 16 – Análise de intensidade em nível de categoria, na Zona de amortecimento, nos três períodos analisados: 1986 e 1997; 1997 e 2005 e 2005 e 2009

4.2.5.3 Área de Influência - AI

4.2.5.3.1 Nível de intervalo

Ao analisar o lado esquerdo da Figura 17, verificou-se que a maior mudança (18,0%) ocorreu no segundo período (1997-2005), enquanto que as mudanças nos outros períodos foram similares. Mas, ao analisar o lado direito desse gráfico, percebe-se a diferença na intensidade dessas mudanças. O primeiro período foi marcado por uma menor intensidade, ou seja, com uma intensidade relativamente baixa, visto que, a barra de intensidade está à esquerda de U, enquanto que, no segundo e terceiro períodos, a taxa anual de mudança foi relativamente rápida, especialmente no terceiro período, indicando que algum fator externo se intensificou no último período.

Figura 17 – Análise de intensidade em nível de intervalo, na área de influência, nos três intervalos estudados: 1986-1997; 1997-2005 e 2005-2009. As barras que estão à esquerda do zero representam a área total de mudança em cada intervalo, enquanto as barras que estão à direita do zero representam a intensidade anual de mudança dentro de cada intervalo de tempo

4.2.5.3.2 Nível de categoria

Em nível de categoria, o lado esquerdo da Figura 18 indica que a classe FN, tem o maior tamanho em termos de perdas anuais no segundo período, enquanto a classe REG apresentou tamanhos crescentes em termos de ganho, com um crescimento diferenciado no terceiro período.

A classe DES também apresentou um aumento diferenciado em termos de perda no terceiro período e um maior ganho no segundo período. Esse ganho pode ser um reflexo das concentrações das maiores taxas de desmatamento no estado, no ano de 2004, ou alterações de cobertura relacionadas à seca de 2005.

Analisando o lado direito, verificou-se que a classe FN apresentou mudanças relativamente baixas em todos os períodos, enquanto que as classes REG e DES ultrapassaram a linha uniforme (linha vertical tracejada em vermelho), indicando intensas atividades nessas classes nos três períodos, especialmente no terceiro período. Desta forma, pode-se afirmar que, em todos os períodos, a subárea AI foi exposta a intensas atividades, com um aumento maior no terceiro período.

Figura 18 – Análise de intensidade em nível de categoria, na Área de influência, nos três períodos analisados: 1986 e 1997; 1997 e 2005 e 2005 e 2009

4.3 Fragmentação

4.3.1 Métricas em nível de paisagem

A paisagem na FNT e seu entorno, foi representada pelas subáreas ZA e AI e configurada pelas classes FN, DES e REG.

4.3.1.1 Análise de área

Nas três subáreas (Tabela 13), verificou-se que houve um aumento no número de fragmentos (NP), indicando um aumento na riqueza estrutural. Como esse índice também representa a extensão da fragmentação na paisagem, pode-se dizer que um processo de fragmentação ocorreu durante os anos estudados, confirmado pelo índice ED, que também apresentou maiores valores.

De acordo com o índice do maior fragmento (LPI), na subárea FNT, os valores (96,0%; 94,0%; 93,0%; e 82,0%) indicam que esse fragmento representou quase a totalidade da paisagem contida na FNT, em todos os anos, significando sua dominância, enquanto que na subárea AI este fragmento foi reduzido em aproximadamente quatro vezes o seu tamanho, entre os anos de 1986 a 2009.

Ao comparar-se os valores de PD e ED obtidos nas subáreas, verificou-se que na FNT esses valores foram cerca de três vezes menores, indicando que a heterogeneidade espacial é maior em suas áreas de entorno. Verificou-se também que a subárea ZA apresentou maior heterogeneidade que a subárea AI.

Tabela 13 – Métricas de área, em nível de paisagem, das subáreas: FNT, ZA e AI da área de estudo

a) Flona Tapajós - FNT					
ANO	TA	NP	PD	LPI	ED
1986	549.252,5	2.350,0	0,4	95,9	5,7
1997	549.252,5	2.609,0	0,5	94,2	6,9
2005	549.252,5	3.330,0	0,6	93,1	8,2
2009	549.252,5	3.334,0	0,6	81,8	8,6

b) Zona de amortecimento - ZA					
ANO	TA	NP	PD	LPI	ED
1986	420.150,1	5.474,0	1,3	28,3	20,2
1997	420.150,1	5.797,0	1,4	28,3	25,6
2005	420.150,1	7.890,0	1,9	28,3	31,3
2009	420.150,1	8.347,0	2,0	28,3	34,6

c) Área de influência - AI					
ANO	TA	NP	PD	LPI	ED
1986	817.331,2	7.508,0	0,9	53,2	15,8
1997	817.331,2	8.079,0	1,0	27,8	21,0
2005	817.331,2	12.525,0	1,5	18,7	28,8
2009	817.331,2	15.611,0	1,9	15,2	33,7

4.3.1.2 Análise de área nuclear

Com a aplicação de um efeito de borda de 500 metros e 1.000,0 metros das classes (REG e DES) para a classe FN, verificou-se que os índices TCA e CAI_MN (Tabela 14) tiveram seus valores reduzidos ao longo do tempo, indicando que a paisagem, ao longo dos anos estudados, sofreu maior influência da borda. Apesar do índice NDCA corresponder à área preservada dentro do fragmento, seu aumento significa o aumento da fragmentação florestal.

Tabela 14 – Métricas de borda, em nível de paisagem da subárea FNT

ANO	TCA	NDCA	CAI_MN
1986	461.765,6	534	18,0
1997	450.068,4	630	16,1
2005	441.649,3	562	12,2
2009	422.713,9	575	12,2

4.3.2 Métricas em nível de classes

4.3.2.1 Floresta Nacional do Tapajós – FNT

4.3.2.1.1 Número de fragmentos - NP

Uma primeira análise dos resultados mostrou que o número de fragmentos - NP encontrados na subárea FNT aumentou (2.350,0; 2.609,0; 3.330,0; e 3.334,0) nos anos de 1986, 1997, 2005 e 2009, respectivamente. Ao separá-los nas classes FN, REG e DES, verificou-se que os NP, da classe FN, foram diminuindo, enquanto os NPs das classes REG e DES foram aumentando, indicando um aumento na configuração das manchas de uso (Figura 19).

Figura 19 – Número de fragmentos (NP) localizados na Floresta Nacional do Tapajós.

Verificou-se que o maior NP foi encontrado na classe REG, seguida pela classe DES. Porém, a classe REG apresentou o maior NP (1.600) no ano de 2005, enquanto que a classe DES apresentou maior NP (1.415) no ano de 2009 (Tabela 15), indicando diferentes atividades entre os anos.

Tabela 15 – Número de fragmentos na Floresta Nacional do Tapajós separados pelas classes DES, FN e REG

		Classes			Total NP
		FN	DES	REG	
Anos	1986	381	691	947	2350
	1997	346	644	1288	2609
	2005	345	1054	1600	3330
	2009	352	1415	1236	3334

4.3.2.1.2 Índices de área, forma e área nuclear

Conforme verificado nas análises quantitativas de uso e cobertura do solo, os fragmentos florestais (classe FN) representaram mais do que 90,0% da FNT, confirmados pelo índice PLAND. Dessa forma, a classe FN, em todos os anos estudados, representou a matriz dominante da subárea FNT.

De acordo com os valores obtidos (ANEXO H), nos quatro anos estudados, verificou-se que:

Houve uma redução nos índices CA e PLAND relacionados a classe FN, indicando perda de habitat. Essa redução, juntamente com a redução do NP, indica que alguns fragmentos da classe FN foram extintos da paisagem (ver Tabela 6). Também verificou-se que os fragmentos relacionados aos usos (REG e DES) tiveram efeitos opostos: suas áreas aumentaram (CA, PLAND) e o NP aumentou. Esse processo foi descrito por Ricklefs (1996).

Houve uma redução do índice LPI, ou seja, o maior fragmento da subárea FNT foi reduzido (96%; 94,0%; 93,0%; e 82,0%), indicando uma diminuição de sua dominância, ou seja, perda de habitat.

Houve um aumento do parâmetro ED (3,8; 4,7; 5,1 e 5,2), indicando acréscimo dos efeitos adversos da borda sobre as espécies do interior dos fragmentos.

Houve redução do índice CPLAND (83,6%; 81,4%; 79,9%; e 76,4%), indicando que a quantidade de área interior reduziu, ou seja, diminuiu a qualidade do habitat.

4.3.2.2 Zona de amortecimento – ZA

As métricas utilizadas para a subárea ZA foram as métricas de área e forma (Tabela 16). De acordo com os resultados gerados para os anos de 1986, 1997, 2005 e 2009 verificou-se que:

Houve uma redução do índice PLAND (56,4%; 46,8%; 39,4%; e 36,3%), relacionada a classe FN, indicando perda de habitat.

Tabela 16 - Métricas da paisagem, em nível de classes, para a subárea ZA

ANO	CLASSE	CA	PLAND	NP	PD	LPI	ED	AREA_MN	SHAPE_MN
1986	DES	32.045,9	7,6	2.118	0,5	0,6	12,5	15,1	1,7
1986	FN	236.790,9	56,4	878	0,2	26,9	13,1	269,7	1,7
1986	REG	31.563,2	7,5	2.171	0,5	1,6	13,2	14,5	1,8
1997	DES	53.810,9	12,8	1.875	0,4	0,9	15,9	28,7	1,7
1997	REG	50.099,3	11,9	2.752	0,7	2,3	17,2	18,2	1,7
1997	FN	196.608,7	46,8	863	0,2	11,0	16,4	227,8	1,7
2005	DES	83.584,5	19,9	2.506	0,6	2,7	20,0	33,4	1,6
2005	REG	51.438,8	12,2	4.016	1,0	0,2	23,9	12,8	1,8
2005	FN	165.488,0	39,4	1.061	0,3	9,0	17,1	156,0	1,7
2009	DES	68.443,2	16,3	4.190	1,0	0,8	21,2	16,3	1,5
2009	REG	79.488,2	18,9	2.765	0,7	0,9	29,4	28,7	1,9
2009	FN	152.587,5	36,3	1.085	0,3	8,4	16,9	140,6	1,7

Houve um aumento do NP, para as classes FN e REG, em quase todos os anos, exceto para o ano de 1997, onde os valores foram menores. Os maiores valores de NP encontraram-se nas classes REG e DES (4.016,0 e 4.190,0) para os anos de 2005 e 2009, respectivamente, indicando que diferentes processos atuaram nesses anos (Figura 20).

Figura 20 – Número de fragmentos (NP) localizados na Zona de amortecimento - ZA

Houve uma redução do índice LPI para a classe FN. Verificou-se a redução dos valores do maior fragmento situado nessa subárea (26,9%; 11,0%; 9,0%; e 8,4%), indicando a redução de sua dominância.

Houve um aumento do valores de LPI, na classe DES e uma redução na classe REG, no ano de 2005.

4.3.2.3 Área de influência – AI

As métricas utilizadas para essa subárea foram as métricas de área e forma (Tabela 17). De acordo com os resultados gerados para os anos de 1986, 1997, 2005 e 2009 verificou-se que:

Houve uma redução do índice PLAND (78,5%; 70,3%; 61,2%; e 57,7%), relacionada à classe FN, indicando perda de habitat.

Houve um aumento do índice NP para as classes FN e REG, em quase todos os anos, exceto para o ano de 1997, onde os valores foram menores. Os maiores valores de NP foram encontrados nas classes REG e DES (6.513,0 e 8.422,0), para os anos de 2005 e 2009, respectivamente, indicando que diferentes processos atuaram nesses anos (Figura 21).

Houve um aumento do índice ED, para todas as classes. Seus maiores valores foram encontrados no ano de 2009, nas classes REG (28,1) e DES (21,8).

Tabela 17 – Métricas da paisagem, em nível de classes, para a subárea AI

ANO	CLASSE	PLAND	LPI	TE	NP	PD	ED	AREA_MN	SHAPE_MN
1986	FN	78,5	53,2	7.733.220	1.040	0,1	9,5	617,2	1,7
1986	REG	6,4	0,8	8.821.110	2.847	0,3	10,8	18,3	1,9
1986	DES	5,8	0,5	8.621.070	3.226	0,4	10,5	14,6	1,7
1997	DES	10,7	0,5	11.316.750	2.813	0,3	13,8	31,1	1,8
1997	FN	70,3	27,8	11.224.020	996	0,1	13,7	576,6	1,8
1997	REG	9,8	2,5	11.083.110	3.875	0,5	13,6	20,7	1,7
2005	REG	10,1	0,2	17.268.840	6.513	0,8	21,1	12,7	1,8
2005	FN	61,2	18,7	13.073.340	1.282	0,2	16,0	390,3	1,8
2005	DES	19,4	3,7	16.047.210	4.335	0,5	19,6	36,5	1,6
2009	REG	17,5	1,6	22.953.300	5.496	0,7	28,1	26,0	1,9
2009	FN	57,7	15,2	13.718.550	1.298	0,2	16,8	363,6	1,8
2009	DES	15,6	2,4	17.795.010	8.422	1,0	21,8	15,1	1,5

Figura 21 – Número de fragmentos (NP) localizados na Área de influência - AI

4.3.3 Métricas em nível de manchas

4.3.3.1 Número de fragmentos - NP

Após uma análise exploratória do NP na subárea FNT, verificou-se a necessidade de agrupar as manchas, para obter uma melhor caracterização da paisagem. Desta forma, as manchas foram agrupadas (Tabela 18) em classes de acordo com os seguintes tamanhos, em hectares (0-10; 10-50; 50-100; 100-500; 500-1.000 e > 1.000).

4.3.3.1.1 Floresta Nacional do Tapajós – FNT

Para a subárea FNT, nos anos de 1986, 1997, 2005 e 2009 foi verificado que, em média, aproximadamente 75,5% dos fragmentos estavam inseridos em áreas menores que 10 hectares; 19,3% em fragmentos de 10 a 50 hectares; aproximadamente 2,5% em fragmentos de 50 a 100 hectares; 2,4% em fragmentos de 100 a 500 hectares e menos que 0,3% estavam em áreas maiores que 500 hectares. Isso corrobora com a característica dos moradores dessa unidade, formados por ribeirinhos, localizados ao longo do Rio Tapajós e colonos ao longo da BR-163, que utilizam as atividades agropecuárias para sua subsistência.

Tabela 18 – Quantidade de número de fragmentos - NP na Floresta Nacional do Tapajós - FNT

Ano	Intervalo do tamanho (hectare) das manchas						Total
	<=10	10 a 50	50 a 100	100 a 500	500 a 1000	> 1000	
1986	1408	310	32	25	2	3	1780
1997	1230	401	49	46	1	3	1730
2005	1606	437	56	59	6	2	2166
2009	1528	348	60	55	8	5	2004

Verificou-se que houve redução do NP, na subárea FNT, relativo aos fragmentos menores que 10ha, especialmente no ano de 1997; aumento do NP, relativo aos fragmentos de 10 a 50ha, especialmente no ano de 1997; aumento do NP, relativo aos fragmentos de 100 a 500ha, a partir do ano de 1997 e aumento do NP, relativo aos fragmentos de 500 a 1.000,0ha a partir do ano de 1997 (Figura 22).

Figura 22 – Distribuição dos fragmentos (NP) na Floresta Nacional do Tapajós em classes de tamanho (ha)

4.3.3.1.2 Zona de amortecimento - ZA

Para a subárea ZA, nos anos de 1986, 1997, 2005 e 2009 foi verificado que, em média, aproximadamente 72,3% dos fragmentos estavam inseridos em áreas menores que 10 hectares; 19,7% em fragmentos de 10 a 50 hectares; aproximadamente 3,4% em fragmentos de 50 a 100 hectares; 3,2% estavam em fragmentos de 100 a 500 hectares; 0,4% estão em fragmentos de 500 a 1.000,0 hectares e aproximadamente 0,6% estão em áreas maiores que 1.000,0 hectares (Tabela 19).

Tabela 19 – Quantidade de fragmentos - NP na Zona de amortecimento - ZA

Ano	Intervalo do tamanho (hectare) das manchas						Total
	<=10	10 a 50	50 a 100	100 a 500	500 a 1000	> 1000	
1986	3637	723	107	80	10	13	4570
1997	2859	985	157	153	17	27	4198
2005	3988	1207	199	187	31	28	5640
2009	3795	970	217	234	32	45	5293

Verificou-se a redução do NP relativo aos fragmentos menores que 10ha, especialmente no ano de 1997; aumento do NP, relativo aos fragmentos de 10 a 50ha, especialmente no ano de 1997; aumento do NP, relativo aos fragmentos de

100 a 500ha, a partir do ano de 1997 e aumento do NP, relativo aos fragmentos de 500 a 1.000,0ha a partir do ano de 1997 (Figura 23).

Figura 23 – Distribuição dos fragmentos (NP) da Zona de amortecimento - ZA em classes de tamanho (ha)

4.3.3.1.3 Área de influência - AI

Para a subárea AI, nos anos de 1986, 1997, 2005 e 2009 foi verificado que, em média, aproximadamente 74,7% dos fragmentos estavam inseridos em áreas menores que 10 hectares; 19,7% em fragmentos de 10 a 50 hectares; aproximadamente 3,2% em fragmentos de 50 a 100 hectares; 3,0% em fragmentos de 100 a 500 hectares; 0,4% estavam em fragmentos de 500 a 1.000,0 hectares e aproximadamente 0,5% em áreas maiores que 1.000,0 hectares (Tabela 20).

Tabela 20 – Quantidade de número de fragmentos - NP na Área de influência - AI

Ano	Intervalo do tamanho (hectare) das manchas						Total
	<=10	10 a 50	50 a 100	100 a 500	500 a 1000	> 1000	
1986	5561	954	126	131	8	24	6804
1997	4583	1333	243	197	33	30	6419
2005	7023	1993	326	304	36	44	9726
2009	7765	1972	377	367	54	56	10591

Verificou-se a redução do NP relativo aos fragmentos menores que 10ha, especialmente no ano de 1997; aumento do NP, relativo aos fragmentos de 10 a 50ha, especialmente no ano de 1997; aumento do NP, relativo aos fragmentos de

100 a 500ha, a partir do ano de 1997 e aumento do NP, relativo aos fragmentos de 500 a 1.000,0ha a partir do ano de 1997 (Figura 24).

Figura 24 – Distribuição dos fragmentos (NP) na Área de influência – AI em classes de tamanho (ha)

4.3.3.2 Análise de forma

Esta análise foi realizada apenas para a subárea FNT, para cada intervalo, em hectares, obtido anteriormente.

4.3.3.2.1 Fragmentos da classe FN

A partir do índice SHAPE, verificou-se que na subárea FNT, a classe FN apresentou valores próximos de um, ou seja, formatos regulares, à medida que suas áreas tornaram-se menores. O menor valor desse índice foi encontrado em áreas menores que 10 ha, indicando que o processo de fragmentação nessas áreas foi maior.

4.3.3.2.2 Fragmentos das classes de uso

A partir do índice SHAPE, verificou-se que na subárea FNT, as classes REG e DES, também possuíam valores próximos de um (formatos regulares) à medida que as áreas tornaram-se menores, sendo que:

Houve um aumento do índice SHAPE, na classe REG, em áreas de 10 a 100 hectares, indicando uma complexidade maior em sua forma. A maior diferença, entre essas classes ocorreu em áreas de 10 a 100 hectares, indicando que as atividades em áreas deste tamanho não está relacionada a atividades agropecuárias (Figura 26).

Houve uma redução significativa do índice SHAPE, em áreas maiores que 500 hectares relacionadas à classe DES, no ano de 2005. As classes REG e FN tiveram efeitos opostos, indicando que a maioria das atividades em áreas deste tamanho, no ano de 2005, não estava relacionada a atividades agropecuárias (Figura 28).

Figura 25 – Índice SHAPE em áreas menores que 10 hectares, na subárea da Floresta Nacional do Tapajós – FNT

Figura 26 – Índice SHAPE em áreas de 10 a 100 hectares, na subárea da Floresta Nacional do Tapajós – FNT

Figura 27 – Índice SHAPE em áreas de 100 a 500 hectares, na subárea da Floresta Nacional do Tapajós – FNT

Figura 28 – Índice SHAPE em áreas maiores que 500 hectares, na subárea da Floresta Nacional do Tapajós – FNT

4.3.3.3 Análise de área nuclear

A análise de área nuclear foi realizada apenas para a classe FN localizada na subárea FNT, manteve-se o mesmo tamanho, em hectares, obtido anteriormente. De acordo com os resultados gerados (Figura 29) verificou-se que:

Figura 29 – Índices da área total e da área nuclear obtidos na Floresta Nacional do Tapajós

Verificou-se uma variação dos valores de área nuclear entre o tamanho dos fragmentos. Os fragmentos maiores que mil hectares (> 1.000 ha) tiveram as maiores áreas nucleares, e também apresentaram um alto índice de forma (SHAPE), indicando um maior efeito de borda e portanto, uma maior fragilidade. Estes fragmentos estão localizados ao longo da BR-163.

4.4 Conectividade de habitats

4.4.1 Superfícies de custo

A superfície de custo (Figura 30) foi gerada para os quatro anos analisados: 1986, 1997, 2005 e 2009. Cada superfície de custo foi o resultado da união de dois fatores: classes de uso e cobertura do solo e a declividade. Esses fatores representam um ambiente com elementos com maior ou menor custo de dispersão de uma espécie hipotética. A diferença entre as superfícies encontra-se somente no fator que representa o uso e cobertura do solo relativo a cada ano analisado. Admitiu-se que a dificuldade de dispersão da fauna está em áreas com a maior probabilidade de presença humana e áreas de maiores declives.

Com os critérios adotados, verificou-se que o custo da superfície aumentou em lugares próximos às estradas e na dificuldade que uma espécie teria ao atravessar um rio de grande largura e profundidade como o Rio Tapajós.

4.4.2 Caminhos de menor custo

Os caminhos de menor custo, indicados pela linha vermelha (Figura 31) foram gerados para os quatro anos. Esses caminhos indicaram os possíveis corredores para a conectividade dos organismos, entre o maior fragmento florestal da UC e os outros fragmentos florestais restantes, localizados em seu entorno, baseados nos critérios adotados na superfície de custo. O aumento visível de prováveis corredores, para um ambiente simulado através da superfície de custo (Figura 30) indica o aumento da necessidade de corredores ecológicos para o movimento da fauna pelo meio ambiente (Figura 31).

Figura 30 – Superfícies de custo criada pela soma ponderada das camadas de uso e cobertura do solo e de declividade

Figura 31 – Caminhos de menor custo que representam a rota de um nó ao outro através dos links (conexões) no grafo

4.4.3 Índices de conectividade

4.4.3.1 Conectividade em nível de paisagem

Em nível de paisagem foram selecionados três índices de conectividade: NC, EC(PC) e EC(IIC) (Tabela 21)

Tabela 21 – Índices de conectividade em nível de paisagem

ANOS	NC	EC(PC)	EC(IIC)
1986	127	803.314,60	803.313,70
1997	182	648.580,50	647.816,10
2005	644	578.517,00	576.497,70
2009	821	504.073,40	503.753,10

Durante os quatro anos analisados, 1986, 1997, 2005 e 2009 com a adoção da distância de cinco quilômetros entre os fragmentos florestais que permitisse a movimentação de uma espécie hipotética verificou-se que os valores do índice NC aumentaram, o que indica uma redução na conectividade, reforçado pelos índices EC(PC) e EC(IIC), que tiveram seus valores reduzidos.

4.4.3.1 Importância das manchas de habitat para uma determinada espécie hipotética, calculadas pelo índice de conectividade PC

O índice PC, referente somente aos fragmentos florestais, apresentou valores baixos de conectividade com o passar dos anos (1986, 1997, 2005 e 2009), indicando que o habitat sofreu um processo progressivo de fragmentação ao longo do tempo (Figura 32).

Indicou que a redução da contribuição das manchas florestais para a conectividade de uma espécie hipotética começou na parte norte da área de estudo, caracterizada por apresentar manchas menores e mais espaçadas. Esta área é destacada por atividades relacionadas à agricultura.

Indicou que no ano de 1986, a parte leste da FNT não sofria influência significativa da BR-163.

Indicou que no ano de 1997, as rodovias Transamazônica e Cuiabá-Santarém já influenciavam na conectividade funcional de uma espécie hipotética entre os fragmentos florestais.

Indicou as áreas que mais contribuem para a conectividade da paisagem de uma espécie hipotética.

Figura 32 – Importância de cada mancha de habitat em termos de sua contribuição individual para a manutenção da conectividade da paisagem medida pelo índice dPC

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nesta tese, foi possível concluir que:

Com a análise da dinâmica de uso e cobertura do solo, considerando perdas e ganhos, mudança líquida e permuta de mudança, por meio da matriz de transição, foi possível concluir que essa abordagem é importante para evidenciar processos dinâmicos das mudanças espaço-temporal na Floresta Nacional do Tapajós e seu entorno. Mesmo sendo uma Unidade de Conservação, a Floresta Nacional do Tapajós perdeu na parte norte padrões florestais que permitiram estabelecer baixos índices de conectividade com a sua parte centro-sul.

Com a análise de intensidade de mudança uniforme, a nível de intervalo e categoria é possível verificar, a existência de fatores externos (*driving forces*) que promovem rápidas mudanças entre os diferentes períodos dentro de áreas protegidas.

Com as análises das métricas da paisagem foi possível obter informações sobre a composição e configuração das manchas que compõem a paisagem da Floresta Nacional do Tapajós e seu entorno. É uma metodologia importante para verificar áreas que estão sob o maior efeito do desmatamento e que pode ocasionar impactos negativos na biodiversidade .

Com a aplicação dos índices de conectividade funcional em áreas protegidas, por meio da distância de menor custo e da teoria dos grafos verifica-se áreas que garantem a manutenção da biodiversidade e outras onde o processo antrópico tende a ser irreversível se não forem adotadas medidas conservacionistas na Floresta Nacional do Tapajós.

As rápidas perdas de padrões e de conectividade da zona de amortecimento com a Floresta Nacional do Tapajós sinaliza que essa área, considerada como tampão, não está desempenhando a função conforme estabelecido pela força de lei de sua delimitação.

REFERÊNCIAS

ADRIAENSEN, F.; CHARDON, J.P.; De BLUST, G.; SWINNEN, E.; VILLALBA, S.; GULINCK, H.; MATTHYSEN, E. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 64, n. 4, p. 233-247, 2003.

AHMED, S.E.; SOUZA Jr., C.M.; RIBERIO, J.; EWERS, R.M. Temporal patterns of road network development in the Brazilian Amazon. **Regional Environmental Change**, Heidelberg, v. 13, n. 5, p. 927-937, 2013.

ALDWAIK, S.Z.; PONTIUS, R.G. Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 106, n. 1, p. 103-114, 2012.

ALENCAR, A. **A rodovia BR-163 e o desafio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: IBASE, 2005. 22 p. (Relatório da missão de Avaliação do Projeto MAPAS: Monitoramento ativo da participação da sociedade).

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M.D.C.V.; SOARES-FILHO, B. **Desmatamento na Amazônia**: indo além da "emergência crônica". Manaus: Instituto de Pesquisas Ambientais da Amazônia, 2004. 89 p.

ALO, C.A.; PONTIUS Jr., R.G. Identifying systematic land-cover transitions using remote sensing and GIS: the fate of forests inside and outside protected areas of Southwestern Ghana. **Environment and Planning. B Planning and Design**, London, v. 35, n. 2, p. 280, 2008.

ANDREN, H. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. **Oikos**, Copenhagen, p. 355-366, 1994.

ARAÚJO, E.; MARTINS, H.; BARRETO, P.; LIMA, A.C. **Áreas protegidas da Amazônia Legal com mais alertas de desmatamento em 2012-2013**. Belém: Imazon. 32 p. Disponível em: <<http://www.imazon.org.br/publicacoes/livretos/areas-protegidas-da-amazonia-legal-com-mais-alertas-de-desmatamento-em-2012-2013>>. Acesso em: 01 fev. 2015.

AYRES, J.M.; FONSECA, G.A.B. da; RAYLANDS, A.B.; QUEIROZ, H.L.; PINTO, L.P.; MASTERSON, D.; CAVALCANTI, R.B. **Os corredores ecológicos das florestas tropicais do Brasil**. Belém: Sociedade Civil Mamirauá, 2005. 256 p.

BARRETO, G.; RAIOL, L. **Unidades de conservação estaduais do Pará na Região da Calha Norte do Rio Amazonas**. Belém: SEMA, 2007. 16 p.

BODIN, O.; SAURA, S. Ranking individual habitat patches as connectivity providers: integrating network analysis and patch removal experiments. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 221, n. 19, p. 2393-2405, 2010.

BRAIMOH, A.K. Random and systematic land-cover transitions in Northern Ghana. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 113, n. 1, p. 254-263, 2006.

BRASIL, 2000. Lei 9985 de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza – SNUC. **Diário Oficial**, Brasília, 19 julho de 2000.

BRASIL, 1994. Decreto nº 1.298, de 27 de Outubro de 1994. Aprova o Regulamento das Florestas Nacionais e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 out. 1994.

BRASIL, 2006. Casa Civil da Presidência da República. **Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável para a Área de Influência da Rodovia BR-163 Cuiabá-Santarém**. Brasília, DF: Casa Civil da Presidência da República, 2006.

BRASIL, 2014. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **A Floresta Nacional do Tapajós**. [Santarém, PA]: ICMBio, 2014. Acesso em: 21 nov. 2014.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change**: theoretical and modeling approaches. 2000. Disponível em: <<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

BUNN, A. G.; URBAN, D. L.; KEITT, T. H. Landscape connectivity: a conservation application of graph theory. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 59, n. 4, p. 265-278, 2000.

CALABRESE, J.M.; FAGAN, W.F. A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 2, n. 10, p. 529-536, 2004.

CARGIL. Disponível em: <<http://www.cargill.com.br/pt/noticias/NA31654537.jsp>>. Acesso em: 01 fev. 2015.

CHAVEZ, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote sensing of environment**, v. 24, n. 3, p. 459-479, 1988.

CHOUDHURY, K.; JANSEN, J.M. **Terminology for intergrated resources planning and management**. 1998. Disponível em <<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/landglos.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2014.

COHENCA, D. Evolução anual de desmatamentos na Floresta Nacional do Tapajós de 1997 a 2005. **Natureza & Conservação**, Amsterdam, v. 5, p. 35-44, 2007.

CORDEIRO, A. **Floresta Nacional do Tapajós-Plano de Manejo**. Belterra: IBAMA, 373p, 2004.

COCHRANE, M.A.; LAURANCE, W.F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 03, p. 311-325, 2002.

DA SILVA, M.S.F.; MELO, R. Padrões espaciais de fragmentação florestal na Flona do Ibura–Sergipe (spatial patterns of forest fragmentation in the Flona Ibura–Sergipe). **Revista Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 3, p. 121-137, 2014.

DE VASCONCELOS, S.S; FEARNSIDE, P.M.; MAURÍCIO, P.; GRAÇA, L.D.A.; DA SILVA, P. R. T.; DIAS, D.V. Suscetibilidade da vegetação ao fogo no sul do Amazonas sob condições meteorológicas atípicas durante a seca de 2005. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 134-144, 2015.

DELAMÔNICA, P.; LAURANCE, W.; LAURANCE, S.G.; OLIVEIRA, A.A.; DALY, D.C. A fragmentação da paisagem. In: OLIVEIRA, A.A.; DALY, D.C. (Ed.). **Florestas do Rio Negro**. São Paulo: Schwarcz, 2001. p. 285-301.

DIAS, A.; LATRUBESSE, E.; GALINKIN, M. **Projeto corredor ecológico Bananal-Araguaia**. Brasília: IBAMA, 2000. 120 p (Relatório do Projeto Corredor Ecológico Bananal-Araguaia).

DOS ANJOS, L. Consequências biológicas da fragmentação no norte do Paraná. **Série técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 32, p. 87-94, 1998.

FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 34, p. 487-515, 2003.

FEARNSIDE, P.M. Carga pesada: o custo ambiental de asfaltar um corredor de soja na Amazônia. In: TORRES, M. **Amazônia revelada: os descaminhos ao longo da Br 163**. Brasília: CNPq. p 397-420. 2005.

FOLETO, E.M.; ZIANI, P. Zoneamento ambiental e diretrizes para o plano de manejo do parque do morro em Santa Maria/RS. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, Piracicaba, v. 26, p. 15-37, 2013.

FORMAN, R.T. Some general principles of landscape and regional ecology. **Landscape Ecology**, Berlin, v. 10, n. 3, p. 133-142, 1995.

FORMAN, R.T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley, 1986. 619 p.

GASCON, C.; LAURANCE, W.F.; LOVEJOY, T.E. Fragmentação florestal e biodiversidade na Amazônia central. In DIAS, BFS. ; GARAY, I. (Ed.). **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Petrópolis: Vozes, 2002. p. 112-127.

HARRIS, K.M.; DICKINSON, K.J.M.; WHIGHAM, P.A. Functional connectivity and matrix quality: network analysis for a critically endangered New Zealand lizard. **Landscape Ecology**, Berlin, v. 29, n. 1, p. 41-53, 2014.

HOUSKA, T. R.; JOHNSON, A. P. **GloVis**. Washington: U.S. Geological Survey General, 2012. 2 p. (General Information Product, 137).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases cartográficas**. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas>>. Rio de Janeiro, 2015. Acesso em: 01 nov. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Coordenação Geral de Observação da Terra. **Projeto PRODES**: monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Unidades de conservação no Brasil**. Disponível em: <<http://uc.socioambiental.org/introdu%C3%A7%C3%A3o/o-que-s%C3%A3o-%C3%A1reas-protegidas>>. Acesso em: 01 ago. 2013.

JACKSON, N. D.; FAHRIG, L. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. **Biological Conservation**, v. 144, n. 12, p. 3143-3148, 2011.

JOPPA, L.N.; LOARIE, S.R.; PIMM, S.L. On the protection of “protected areas”. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 18, p. 6673-6678, 2008.

KUPFER, J.A. Landscape ecology and biogeography: rethinking landscape metrics in a post-FRAGSTATS landscape. **Progress in Physical Geography**, London, v. 39, n. 3, p. 388-404, 2012.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424 p.

LAURANCE, W.F.; GASCON, C. How to creatively fragment a landscape. **Conservation Biology**, New York, v. 11, n. 2, p. 577-579, 1997.

LEITÃO, A.B.; AHERN, J. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 59, n. 2, p. 65-93, 2002.

LOPES, J.G.; VIALÔGO, T.M.L. Unidades de conservação no Brasil. **Revista JurisFIB**, Bauru, v. 4, n. 4, p. 79-109, 2013.

LOURENÇO, J.; DANKO, C.C.; FERNANDES, D.; RAMOS, L. Alterações dos usos do solo: o caso do Vale do Douro. **Engenharia Civil. Universidade do Minho**, Minho, v. 30, n. 3, p. 33-50, 2008.

MALCOLM, J.R. Edge effects in central Amazonian forest fragments. **Ecology**, New York, v. 75, n. 8, p. 2438-2445, 1994.

MARTORANO, L.G.; PEREIRA, L.C.; CEZAR, E.G.M.; PEREIRA, I.C.B. **Estudos climatológicos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather)**. Belém, SUDAM; EMBRAPA; SNLCS, 1993. 3 p.

McGARIGAL, K. Landscape pattern metrics. In: EL-SHAARAWI, A.H.; PIEGORSCH, W.W. (Ed.). **Encyclopedia of environmetrics**. Chichester: John Wiley, 2002, v. 2, p. 1135-1142.

_____. **Fragstats v4**: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps-help manual. Amherst: University of Massachusetts, 2014. Disponível em: <<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>>. Acesso em: 01 abr. 2015.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B.J. **Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Washington: USDA, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 141 p.

METZGER, J.P. O que é ecologia de paisagens?. **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 1, n. 1/2, p. 1-9, 2001.

NEEL, M.C.; MCGARIGAL, K.; CUSHMAN, S.A. Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area. **Landscape Ecology**, Berlin, v. 19, n. 4, p. 435-455, 2004.

NEW, M.; LISTER, D.; HULME, M.; MAKIN, I. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. **Climate Research**, Lüneburg, v. 21, n. 1, p. 1-25, 2002.

PASCUAL-HORTAL, L.; SAURA, S. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. **Landscape Ecology**, Berlin, v. 21, n. 7, p. 959-967, 2006.

PINTO, D.M. **O uso de recursos de propriedade comum em áreas de propriedade estatal por populações tradicionais e assentados da reforma agrária**. 2015. 231 p. Tese (Doutorado em Administração – Área de concentração: Políticas públicas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

PIOVESAN, J.C.; HATAYA, R.; PINTO-LEITE, C.M.; RIGUEIRA, D.M.G.; MARIANO-NETO, E. Processos ecológicos e a escala da paisagem como diretrizes para projetos de restauração ecológica. **Revista CAITITU: Aproximando Pesquisa Ecológica e Aplicação**, Salvador, v. 1, n. 1, p. 57-72, 2013.

PÉRICO, E.; CEMIN, G. Planejamento do uso do solo em ambiente SIG: alocação de um distrito industrial no município de Lajeado, RS, Brasil. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 4, n. 1, p. 41-52, 2006.

PONTIUS JR., R.G.; SHUSAS, E.; MCEACHERN, M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 101, n. 2, p. 251-268, 2004.

RAMBALDI, D.M.; OLIVEIRA, D.A.S. **Fragmentação de ecossistemas**: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Brasília: MMA, 2003. 510 p.

RIBEIRO, S.; MARQUES, J.C.B. Características da paisagem e sua relação concorrência de bugios-ruivos (*Alouatta guariba clamitans* Cabrera, 1940; Primates Atelidae) em fragmentos florestais no vale do Taquari, RS. **Natureza e Conservação**, Amsterdam, v. 3, n. 2, p. 65-78, 2005.

RICKLEFS, R.E. A economia da natureza. In: _____. **A economia da natureza**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. cap. 25, p. 410-427.

ROBERT, G.D.; GLENN, S.M.; PARFITT, I.; FORTIN, M.J. Landscape connectivity as a function of scale and organism vagility in a real forested landscape. **Conservation Ecology**, Vancouver, v. 6, n. 2, p. 10, 2002.

SAURA, S.; PASCUAL-HORTAL, L. **Conefor Sensinode 2.2 user's manual**: software for quantifying the importance of habitat patches for maintaining landscape connectivity through graphs and habitat availability indices. Lleida: University of Lleida, 2007. 56 p.

SAURA, S.; TORNE, J. Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 24, n. 1, p. 135-139, 2009.

_____. **Conefor 2.6 user manual**. Disponível em: <<http://www.conefor.org>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

SAURA, S.; ESTREGUIL, C.; MOUTON, C.; RODRÍGUEZ-FREIRE, M. Network analysis to assess landscape connectivity trends: application to European forests (1990–2000). **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 11, n. 2, p. 407-416, 2011.

TABARELLI, M.; LOPES, A.V.; PERES, C.A. Edge-effects drive tropical forest fragments towards an early-successional system. **Biotropica**, New Jersey, v. 40, n. 6, p. 657-661, 2008.

TAYLOR, Philip D. et al. Connectivity is a vital element of landscape structure. **Oikos**, p. 571-573, 1993.

THEOBALD, D.M. Exploring the functional connectivity of landscapes using landscape networks. In: CROOKS, K.R.; SANJAYAN, M. (Ed.). **Connectivity conservation**. New York: Cambridge University Press, 2006. p. 416–443.

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

URBAN, D.L.; SHUGART, H.H. jr. 1986. **Avian demography in mosaic landscapes: modeling paradigm and preliminary**. In: Verner, M.L., Morrisson, M.L. & Ralph, C.J. (Eds.), *Wildlife 2000. Modeling habitat relationships of terrestrial vertebrates*. The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, p. 273-279.

VALENTE, R.O.A.; VETTORAZZI, C.A. Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 62, p. 114-119, 2002.

VERÍSSIMO, A.; ROLLA, A.; VEDOVETO, M.; FUTADA, S.M. **Áreas protegidas na Amazônia Brasileira: avanços e desafios**. Belém: Imazon; São Paulo: ISA; 2011. 87 p.

WIENS, J.A.; SCHOOLEY, R.L.; WEEKS JR, R.D. Patchy landscapes and animal movements: do beetles percolate? **Oikos**, Copenhagen, p. 257-264, 1997.

ANEXOS

Anexo A – Resumo das mudanças na paisagem (%) do primeiro período analisado, referente aos anos de 1986 e 1997 da: a) FNT – Floresta Nacional do Tapajós, b) Zona de amortecimento - ZA e c) Área de influência - AI

	Total 1986	Total 1997	Ganhos	Perdas	Total de mudança	Swap	Mudança net
(a) Flona Tapajós - FNT							
FN	96,13	94,50	0,00	1,63	1,63	0,00	1,63
REG	1,69	2,63	1,40	0,47	1,87	0,94	0,94
DES	1,79	2,49	1,58	0,89	2,47	1,77	0,70
Total	100,00	100,00	2,98	2,98	2,98	1,35	1,63
(b) Zona de amortecimento (10 km de buffer da FNT) - ZA							
FN	56,36	46,79	0,00	9,56	9,56	0,00	9,56
REG	7,51	11,92	6,31	1,90	8,21	3,80	4,41
DES	7,63	12,81	8,93	3,75	12,68	7,50	5,18
Total	100,00	100,00	15,24	15,24	15,24	5,65	9,59
(c) Área de influência (20 km de buffer da Zona de amortecimento) - AI							
FN	78,54	70,26	0,00	8,28	8,28	0,00	8,28
REG	6,37	9,81	5,15	1,71	6,86	3,43	3,44
DES	5,75	10,70	8,01	3,07	11,08	6,13	4,95
Total	100,00	100,00	13,18	13,18	13,18	4,79	8,39

Nota: FN=Floresta Nativa, REG=Regeneração, DES=Desmatamento

Anexo B – Resumo das mudanças na paisagem (%) do segundo período analisado, referente aos anos de 1997 e 2005 da: a) FNT – Floresta Nacional do Tapajós, b) Zona de amortecimento - ZA e c) Área de influência - AI

	Total 1997	Total 2005	Ganhos	Perdas	Total de mudança	Swap	Mudança net
a) FNT - Flona Tapajós							
FN	94,50	93,48	0,00	1,02	1,02	0,00	1,02
REG	2,63	3,24	1,43	0,82	2,25	1,64	0,61
DES	2,49	2,89	1,45	1,05	2,51	2,10	0,40
Total	100,00	100,00	2,89	2,89	2,89	1,87	1,02
(b) Zona de amortecimento							
FN	46,79	39,39	0,00	7,41	7,41	0,00	7,41
REG	11,92	12,24	6,18	5,87	12,05	11,73	0,32
DES	12,81	19,89	11,30	4,21	15,52	8,43	7,09
Total	100,00	100,00	17,49	17,49	17,49	10,08	7,41
(c) Área de influência							
FN	70,26	61,22	0,00	9,04	9,04	0,00	9,04
REG	9,81	10,08	5,62	5,34	10,97	10,69	0,28
DES	10,70	19,38	12,20	3,52	15,71	7,03	8,68
Total	100,00	100,00	17,92	17,92	17,92	8,87	9,04

Nota: AG=Corpos d'água, FN=Floresta Nativa, REG=Regeneração, DES=Desmatamento

Anexo C – Resumo das mudanças na paisagem (%) do terceiro período analisado, referente aos anos de 2005 e 2009 da: a) FNT – Floresta Nacional do Tapajós, b) Zona de amortecimento - ZA e c) Área de influência - AI

	Total 2005	Total 2009	Ganhos	Perdas	Total de mudança	Swap	Mudança net
a) Flona Tapajós - FNT							
FN	93,48	93,02	0,00	0,47	0,47	0,00	0,47
REG	3,24	4,28	1,59	0,54	2,13	1,08	1,05
DES	2,89	2,30	0,81	1,40	2,22	1,63	0,59
Total	100,00	100,00	2,41	2,41	2,41	1,36	1,05
(b) Zona de amortecimento (10 km de buffer da FNT) - ZA							
FN	39,39	36,32	0,00	3,07	3,07	0,00	3,07
REG	12,24	18,92	9,24	2,57	11,81	5,13	6,68
DES	19,89	16,29	4,42	8,02	12,44	8,84	3,60
Total	100,00	100,00	13,66	13,66	13,66	6,99	6,68
(c) Área de influência (20 km de buffer da Zona de amortecimento) - AI							
FN	61,22	57,75	0,00	3,47	3,47	0,00	3,47
REG	10,08	17,46	9,43	2,06	11,49	4,12	7,37
DES	19,38	15,57	4,34	8,16	12,50	8,68	3,82
Total	100,00	100,00	13,78	13,78	13,78	6,41	7,37

Nota: FN=Floresta Nativa, REG=Regeneração, DES=Desmatamento

Anexo D - Matriz de transição (%) do primeiro período: 1986 e 1997. As transições observadas estão em negrito, perdas esperadas em itálico e ganhos esperados em fonte normal

Ano ₁	FN			REG			DES			Total Ano ₁			Perda		
	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI
FN	94,50	46,79	70,26	0,52	2,54	2,01	1,11	7,02	6,27	96,13	56,36	78,54	1,63	9,56	8,28
	<i>94,50</i>	<i>46,79</i>	<i>70,26</i>	<i>0,78</i>	<i>2,14</i>	<i>2,73</i>	<i>0,74</i>	<i>2,30</i>	<i>2,98</i>	<i>96,13</i>	<i>56,36</i>	<i>78,54</i>	<i>1,63</i>	<i>9,56</i>	<i>8,28</i>
	94,50	46,79	70,26	1,37	3,85	4,32	1,55	5,45	6,68	97,42	56,09	81,27	2,92	9,29	11,01
REG	0,00	0,00	0,00	1,22	5,61	4,66	0,47	1,90	1,71	1,69	7,51	6,37	0,47	1,90	1,71
	<i>0,45</i>	<i>1,01</i>	<i>1,33</i>	<i>1,22</i>	<i>5,61</i>	<i>4,66</i>	<i>0,01</i>	<i>0,28</i>	<i>0,20</i>	<i>1,69</i>	<i>7,51</i>	<i>6,37</i>	<i>0,47</i>	<i>1,90</i>	<i>1,71</i>
	0,00	0,00	0,00	1,22	5,61	4,66	0,03	0,73	0,54	1,25	6,34	5,20	0,03	0,73	0,54
DES	0,00	0,00	0,00	0,89	3,75	3,06	0,91	3,88	2,69	1,79	7,63	5,75	0,89	3,75	3,07
	<i>0,86</i>	<i>2,01</i>	<i>2,41</i>	<i>0,02</i>	<i>0,51</i>	<i>0,34</i>	<i>0,91</i>	<i>3,88</i>	<i>2,69</i>	<i>1,79</i>	<i>7,63</i>	<i>5,75</i>	<i>0,89</i>	<i>3,75</i>	<i>3,07</i>
	0,00	0,00	0,00	0,03	0,52	0,32	0,91	3,88	2,69	0,93	4,40	3,00	0,03	0,52	0,32
Total Ano ₂	94,50	46,79	70,26	2,63	11,92	9,81	2,49	12,81	10,70	100,00	100,00	100,00	2,98	15,24	13,18
	<i>95,81</i>	<i>49,83</i>	<i>74,08</i>	<i>2,02</i>	<i>8,27</i>	<i>7,74</i>	<i>1,65</i>	<i>6,46</i>	<i>5,88</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>2,98</i>	<i>15,24</i>	<i>13,18</i>
	94,50	46,79	70,26	2,63	11,92	9,81	2,49	12,81	10,70	100,00	100,00	100,00	2,98	15,24	13,18
Ganho	0,00	0,00	0,00	1,40	6,31	5,15	1,58	8,93	8,01	2,98	15,24	13,18			
	<i>1,31</i>	<i>3,03</i>	<i>3,83</i>	<i>0,80</i>	<i>2,66</i>	<i>3,08</i>	<i>0,75</i>	<i>2,58</i>	<i>3,20</i>	<i>2,98</i>	<i>15,24</i>	<i>13,18</i>			
	0,00	0,00	0,00	1,40	6,31	5,15	1,58	8,93	8,01	2,98	15,24	13,18			

Nota: FNT=Unidade de Conservação, ZA=Zona de amortecimento, AI=área de influência, FN=Floresta Nativa, REG=Regeneração, DES=Desmatamento

Anexo E - Matriz de transição (%) do segundo período: 1997 e 2005. As transições observadas estão em negrito, perdas esperadas em itálico e ganhos esperados em fonte normal

Ano ₁	FN			REG			DES			Total Ano ₁			Perda		
	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI
FN	93,48	39,39	61,22	0,38	1,97	2,12	0,63	5,44	6,90	94,50	46,79	70,26	1,02	7,41	9,04
	<i>93,48</i>	<i>39,39</i>	<i>61,22</i>	<i>0,51</i>	<i>1,50</i>	<i>2,35</i>	<i>0,45</i>	<i>2,43</i>	<i>4,52</i>	<i>94,50</i>	<i>46,79</i>	<i>70,26</i>	<i>1,02</i>	<i>7,41</i>	<i>9,04</i>
	<i>93,48</i>	<i>39,39</i>	<i>61,22</i>	<i>1,39</i>	<i>3,29</i>	<i>4,38</i>	<i>1,41</i>	<i>6,06</i>	<i>9,60</i>	<i>96,28</i>	<i>48,74</i>	<i>75,26</i>	<i>2,80</i>	<i>9,35</i>	<i>14,04</i>
REG	0,00	0,00	0,00	1,81	6,06	4,46	0,82	5,87	5,30	2,63	11,92	9,81	0,82	5,87	5,34
	<i>0,79</i>	<i>2,63</i>	<i>3,64</i>	<i>1,81</i>	<i>6,06</i>	<i>4,46</i>	<i>0,02</i>	<i>1,33</i>	<i>1,15</i>	<i>2,63</i>	<i>11,92</i>	<i>9,81</i>	<i>0,82</i>	<i>5,87</i>	<i>5,34</i>
	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,81</i>	<i>6,06</i>	<i>4,46</i>	<i>0,04</i>	<i>1,55</i>	<i>1,34</i>	<i>1,85</i>	<i>7,60</i>	<i>5,81</i>	<i>0,04</i>	<i>1,55</i>	<i>1,35</i>
DES	0,00	0,00	0,00	1,05	4,21	3,49	1,43	8,59	7,18	2,49	12,81	10,70	1,05	4,21	3,52
	<i>1,01</i>	<i>2,07</i>	<i>2,67</i>	<i>0,04</i>	<i>0,64</i>	<i>0,44</i>	<i>1,43</i>	<i>8,59</i>	<i>7,18</i>	<i>2,49</i>	<i>12,81</i>	<i>10,70</i>	<i>1,05</i>	<i>4,21</i>	<i>3,52</i>
	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,04</i>	<i>0,90</i>	<i>0,67</i>	<i>1,43</i>	<i>8,59</i>	<i>7,18</i>	<i>1,47</i>	<i>9,49</i>	<i>7,86</i>	<i>0,04</i>	<i>0,90</i>	<i>0,68</i>
Total Ano ₂	93,48	39,39	61,22	3,24	12,24	10,08	2,89	19,89	19,38	100,00	100,00	100,00	2,89	17,49	17,92
	<i>95,28</i>	<i>44,09</i>	<i>67,53</i>	<i>2,35</i>	<i>8,20</i>	<i>7,25</i>	<i>1,91</i>	<i>12,35</i>	<i>12,86</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>2,89</i>	<i>17,49</i>	<i>17,92</i>
	<i>93,48</i>	<i>39,39</i>	<i>61,22</i>	<i>3,24</i>	<i>12,24</i>	<i>10,08</i>	<i>2,89</i>	<i>19,89</i>	<i>19,38</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>2,89</i>	<i>17,49</i>	<i>17,92</i>
Ganho	0,00	0,00	0,00	1,43	6,18	5,62	1,45	11,30	12,20	2,89	17,49	17,92			
	<i>1,80</i>	<i>4,70</i>	<i>6,32</i>	<i>0,54</i>	<i>2,14</i>	<i>2,79</i>	<i>0,48</i>	<i>3,76</i>	<i>5,67</i>	<i>2,89</i>	<i>17,49</i>	<i>17,92</i>			
	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,43</i>	<i>6,18</i>	<i>5,62</i>	<i>1,45</i>	<i>11,30</i>	<i>12,20</i>	<i>2,89</i>	<i>17,49</i>	<i>17,92</i>			

Nota: FNT=Unidade de Conservação, ZA=Zona de amortecimento, AI=área de influência, FN=Floresta Nativa, REG=Regeneração, DES=Desmatamento

Anexo F - Matriz de transição (%) do terceiro período: 2005 e 2009. As transições observadas estão em negrito, perdas esperadas em itálico e ganhos esperados em fonte normal

Ano ₁	FN			REG			DES			Total Ano ₁			Perda		
	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI	FNT	ZA	AI
	93,02	36,32	57,75	0,18	1,22	1,24	0,27	1,85	2,23	93,48	39,39	61,22	0,47	3,07	3,47
FN	93,02	36,32	57,75	0,29	0,91	1,43	0,15	0,79	1,28	93,48	39,39	61,22	0,47	3,07	3,47
	93,02	36,32	57,75	1,54	4,15	6,42	0,78	2,17	3,30	95,34	42,64	67,47	2,33	6,32	9,72
	0,00	0,00	0,00	2,70	9,68	8,03	0,54	2,57	2,06	3,24	12,24	10,08	0,54	2,57	2,06
REG	0,53	1,15	1,44	2,70	9,68	8,03	0,01	0,52	0,39	3,24	12,24	10,08	0,54	2,57	2,06
	0,00	0,00	0,00	2,70	9,68	8,03	0,03	0,68	0,54	2,72	10,35	8,57	0,03	0,68	0,54
	0,00	0,00	0,00	1,40	8,02	8,16	1,49	11,87	11,23	2,89	19,89	19,38	1,40	8,02	8,16
DES	1,33	3,48	5,58	0,06	1,81	1,69	1,49	11,87	11,23	2,89	19,89	19,38	1,40	8,02	8,16
	0,00	0,00	0,00	0,05	2,10	2,03	1,49	11,87	11,23	1,54	13,96	13,26	0,05	2,10	2,03
	93,02	36,32	57,75	4,28	18,92	17,46	2,30	16,29	15,57	100,00	100,00	100,00	2,41	13,66	13,78
Total Ano ₂	94,88	40,95	64,82	3,04	12,40	11,16	1,65	13,17	12,91	100,00	100,00	100,00	2,41	13,66	13,78
	93,02	36,32	57,75	4,28	18,92	17,46	2,30	16,29	15,57	100,00	100,00	100,00	2,41	13,66	13,78
	0,00	0,00	0,00	1,59	9,24	9,43	0,81	4,42	4,34	2,41	13,66	13,78			
Ganho	1,86	4,63	7,07	0,35	2,73	3,14	0,17	1,30	1,68	2,41	13,66	13,78			
	0,00	0,00	0,00	1,59	9,24	9,43	0,81	4,42	4,34	2,41	13,66	13,78			

Nota: FNT=Unidade de Conservação, ZA=Zona de amortecimento, AI=área de influência, FN=Floresta Nativa, REG=Regeneração, DES=Desmatamento

Anexo G – Resumo das transições sistemáticas ou aleatórias, em termos de ganhos e perdas, baseadas nos valores apresentados nos ANEXOS D, E e F
(continua)

Primeiro período (1986-1997)			Segundo período (1997-2005)			Terceiro período (2005-2009)			
	FN	REG	DES	FN	REG	DES	FN	REG	DES
a) FNT - Flona Tapajós									
FN	0,00	-0,26	0,38	0,00	-0,13	0,18	0,00	-0,10	0,12
	(0,00)	(-0,33)	(0,51)	(0,00)	(-0,25)	(0,41)	(0,00)	(-0,36)	(0,78)
	<i>0,00</i>	<i>-0,85</i>	<i>-0,43</i>	<i>0,00</i>	<i>-1,01</i>	<i>-0,77</i>	<i>0,00</i>	<i>-1,35</i>	<i>-0,51</i>
	0,00	-0,62	-0,28	0,00	-0,73	-0,55	0,00	-0,88	-0,65
REG	-0,45	0,00	0,46	-0,79	0,00	0,79	-0,53	0,00	0,53
	(-1,00)	(0,00)	(38,17)	(-1,00)	(0,00)	(32,49)	(-1,00)	(0,00)	(40,47)
	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,44</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,78</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,51</i>
	-	0,00	16,20	0,00	0,00	19,92	0,00	0,00	18,91
DES	-0,86	0,86	0,00	-1,01	1,02	0,00	-1,33	1,34	0,00
	(-1,00)	(36,14)	(0,00)	(-1,00)	(28,99)	(0,00)	(-1,00)	(21,80)	(0,00)
	<i>0,00</i>	<i>0,86</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,01</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,35</i>	<i>0,00</i>
	-	33,62	0,00	-	27,76	0,00	-	28,54	0,00
b) ZA - Zona de amortecimento									
FN	0,00	0,40	4,72	0,00	0,47	3,00	0,00	0,30	1,07
	(0,00)	(0,19)	(2,05)	(0,00)	(0,32)	(1,24)	(0,00)	(0,33)	(1,36)
	<i>0,00</i>	<i>-1,30</i>	<i>1,57</i>	<i>0,00</i>	<i>-1,31</i>	<i>-0,63</i>	<i>0,00</i>	<i>-2,93</i>	<i>-0,32</i>
	0,00	-0,34	0,29	0,00	-0,40	-0,10	0,00	-0,71	-0,15
REG	-1,01	0,00	1,62	-2,63	0,00	4,54	-1,15	0,00	2,05
	(-1,00)	(0,00)	(5,88)	(-1,00)	(0,00)	(3,41)	(-1,00)	(0,00)	(3,98)
	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,17</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>4,32</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,89</i>
	-	0,00	1,62	-	0,00	2,80	-	0,00	2,80
DES	-2,01	3,24	0,00	-2,07	3,57	0,00	-3,48	6,21	0,00
	(-1,00)	(6,31)	(0,00)	(-1,00)	(5,54)	(0,00)	(-1,00)	(3,42)	(0,00)
	<i>0,00</i>	<i>3,23</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>3,31</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>5,93</i>	<i>0,00</i>
	-	6,20	0,00	-	3,69	0,00	-	2,83	0,00

Nota: O valor em negrito é a diferença entre o valor observado e a perda esperada, o valor entre parênteses é a razão entre o valor em negrito e a perda esperada, o valor em itálico é a diferença entre o valor observado e o ganho esperado e o valor em fonte normal é a razão entre o valor em itálico e o ganho esperado

Anexo G – Resumo das transições sistemáticas ou aleatórias, em termos de ganhos e perdas, baseadas nos valores apresentados nos ANEXOS D, E e F
(conclusão)

Primeiro período (1986-1997)			Segundo período (1997-2005)			Terceiro período (2005-2009)			
	FN	REG	DES	FN	REG	DES	FN	REG	DES
c) AI - Área de influência									
FN	0,00	-0,73	3,29	0,00	-0,23	2,38	0,00	-0,20	0,95
	(0,00)	(-0,27)	(1,10)	(0,00)	(-0,10)	(0,53)	(0,00)	(-0,14)	(0,74)
	<i>0,00</i>	<i>-2,31</i>	<i>-0,41</i>	<i>0,00</i>	<i>-2,26</i>	<i>-2,70</i>	<i>0,00</i>	<i>-5,19</i>	<i>-1,07</i>
	0,00	-0,54	-0,06	0,00	-0,52	-0,28	0,00	-0,81	-0,32
REG	-1,33	0,00	1,51	-3,64	0,00	4,15	-1,44	0,00	1,67
	(-1,00)	(0,00)	(7,43)	(-1,00)	(0,00)	(3,60)	(-1,00)	(0,00)	(4,30)
	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,17</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>3,96</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,52</i>
	-	0,00	2,16	-	0,00	2,96	-	0,00	2,79
DES	-2,41	2,73	0,00	-2,67	3,05	0,00	-5,58	6,47	0,00
	(-1,00)	(8,10)	(0,00)	(-1,00)	(6,94)	(0,00)	(-1,00)	(3,84)	(0,00)
	<i>0,00</i>	<i>2,75</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>2,83</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>6,12</i>	<i>0,00</i>
	-	8,68	0,00	-	4,24	0,00	-	3,01	0,00

Nota: O valor em negrito é a diferença entre o valor observado e a perda esperada, o valor entre parênteses é a razão entre o valor em negrito e a perda esperada, o valor em itálico é a diferença entre o valor observado e o ganho esperado e o valor em fonte normal é a razão entre o valor em itálico e o ganho esperado

Anexo H - Índices em nível de classes da subárea da Floresta Nacional do Tapajós

CLASSES	ANO	CA	NP	PD	PLAND	LPI	ED	SHAPE_MN	PAFRAC	CPLAND	NDCA	CORE_MN	CAI_MN
AG	1986	2.129,7	331	0,1	0,4	0,1	0,8	1,6	1,4	0,4	331	6,4	100,0
DES	1986	9.761,8	691	0,1	1,8	0,3	3,2	1,6	1,4	0,0	45	0,2	0,7
REG	1986	9.169,5	947	0,2	1,7	0,1	3,5	1,8	1,4	0,1	43	0,4	0,4
FN	1986	528.132,1	381	0,1	96,2	95,9	3,8	1,4	1,3	83,6	115	1205,2	22,0
AG	1997	2.129,7	331	0,1	0,4	0,1	0,8	1,6	1,4	0,4	331	6,4	100,0
DES	1997	13.597,6	644	0,1	2,5	0,6	3,6	1,7	1,4	0,0	87	0,3	1,6
REG	1997	14.297,6	1288	0,2	2,6	0,1	4,6	1,6	1,3	0,1	110	0,5	1,2
FN	1997	519.168,2	346	0,1	94,5	94,2	4,7	1,5	1,3	81,4	102	1292,3	18,7
AG	2005	2.129,7	331	0,1	0,4	0,1	0,8	1,6	1,4	0,4	331	6,4	100,0
DES	2005	15.763,1	1054	0,2	2,9	0,2	4,1	1,5	1,4	0,1	46	0,3	1,0
REG	2005	17.719,2	1600	0,3	3,2	0,2	6,4	1,7	1,4	0,1	106	0,3	1,1
FN	2005	513.559,1	345	0,1	93,5	93,1	5,1	1,5	1,3	79,9	79	1271,6	14,1
AG	2009	2.129,7	331	0,1	0,4	0,1	0,8	1,6	1,4	0,4	331	6,4	100,0
DES	2009	12.546,4	1415	0,3	2,3	0,5	4,1	1,5	1,4	0,0	9	0,0	0,2
REG	2009	23.461,7	1236	0,2	4,3	0,4	7,1	1,8	1,4	0,1	154	0,5	2,2
FN	2009	510.997,6	352	0,1	93,0	81,8	5,2	1,5	1,3	76,4	81	1192,8	13,4