



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DAS MUDANÇAS ESPACIAIS E TEMPORAIS NOS  
PADRÕES DE PAISAGEM NA REGIÃO DO OESTE DA  
BAHIA SOBRE A FORMAÇÃO DO GRUPO URUCUIA (1988-  
2011) E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DO  
CERRADO**

**SANDRO NUNES DE OLIVEIRA**

**TESE DE DOUTORADO**

Brasília - DF  
Dezembro de 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DAS MUDANÇAS ESPACIAIS E TEMPORAIS NOS  
PADRÕES DE PAISAGEM NA REGIÃO DO OESTE DA BAHIA SOBRE  
A FORMAÇÃO DO GRUPO URUCUIA (1988-2011) E SUAS  
IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DO CERRADO**

**SANDRO NUNES DE OLIVEIRA**

Orientador:  
Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior

Co-Orientador:  
Prof. Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

**TESE DE DOUTORADO**

Brasília - DF  
Dezembro de 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DAS MUDANÇAS ESPACIAIS E TEMPORAIS NOS PADRÕES DE  
PAISAGEM NA REGIÃO DO OESTE DA BAHIA SOBRE A FORMAÇÃO DO  
GRUPO URUCUIA (1988-2011) E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO  
DO CERRADO**

SANDRO NUNES DE OLIVEIRA

Tese de doutorado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Doutor em Geografia, área de concentração Gestão Ambiental e Territorial, opção Acadêmica.

Aprovado por:

---

Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior (GEA/UnB)  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes (GEA/UnB)  
(Co-Orientador)

---

Profa. Dra. Carla Bernadete Madureira Cruz (UFRJ)  
(Examinadora Externa)

---

Prof. Dr. Raúl Sanchez Vicens (UFF)  
(Examinador Externo)

---

Profa. Dra. Waleska Valença Manyari (GEA/UnB)  
(Examinadora Interna)

---

Prof. Dr. Éder de Souza Martins (GEA/UnB e EMBRAPA)  
(Examinador Interno)

---

Profa. Dra. Ruth Elias de Paula Laranja (GEA/UnB)  
(Suplente)

Brasília - DF, 7 de dezembro de 2015.

## FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, SANDRO NUNES DE

Análise das mudanças espaciais e temporais nos padrões de paisagem na Região do Oeste da Bahia sobre a formação do Grupo Urucuia (1988-2011) e suas implicações para a conservação do cerrado. 154p. (UnB-IH-GEA, Doutor, Gestão Ambiental e Territorial, 2015).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Departamento de Geografia.

- |   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. Mudanças da paisagem                 | 2. Detecção de mudança    |
| 3. Mudanças na fragmentação da paisagem | 4. Conservação do Cerrado |
| I. UnB-IH-GEA                           | II. Título (série)        |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, S. N. **Análise das mudanças espaciais e temporais nos padrões de paisagem na Região do Oeste da Bahia sobre a formação do Grupo Urucuia (1988-2011) e suas implicações para a conservação do cerrado.** 2015. 154p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

## CESSÃO DE DIREITOS

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Sandro Nunes de Oliveira



## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Milton e Vanda e à minha noiva Thatiane Marques Torquato.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, minha fortaleza, pelas inúmeras dificuldades superadas e por todas as conquistas obtidas durante a elaboração desta tese.

Ao professor Osmar Abílio de Carvalho Júnior pela orientação, compreensão, incentivo, apoio, amizade e paciência.

Aos professores Roberto Arnaldo Trancoso Gomes e Renato Fontes Guimarães pelo incentivo, auxílio e boa convivência.

Ao Instituto Federal de Brasília (IFB) pela concessão de licença remunerada de 1 ano, 4 meses e 22 dias.

À professora Dra. Carla Bernadete Madureira Cruz; ao professor Dr. Raúl Sanchez Vicens (UFF); à professora Dra. Waleska Valença Manyari (GEA/UnB) e à professora Dra. Ruth Elias de Paula Laranja (GEA/UnB) pelas contribuições na banca de defesa da tese.

Ao pesquisador Eder de Souza Martins pelas grandes contribuições na banca de qualificação.

Aos meus pais Milton e Vanda pelo exemplo de vida e pela incansável torcida para que eu conseguisse concluir esta tese.

A minha noiva e futura esposa Thatiane Marques Torquato pelo incentivo constante, pelo amor incondicional, pelo ombro amigo fornecido durante os momentos difíceis, pela compreensão durante as minhas ausências, que foram constantes, e pelo incentivo.

Aos meus irmãos César, Milton Júnior e Henrique, e aos meus sobrinhos Taynan e Taynara pela torcida.

Ao Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais da UnB (LSIE) pela estrutura e apoio fornecidos.

Agradeço a Aline Brignol Menke, Aracelly dos Santos Castro, Bruno Pimenta Guimarães, Fabiana de Oliveira Hessel, Luana Cristine da Silva Jardim Pinheiro, Pedro Maury Flores, Rosana Sumiya Gurgel e Thiago Felipe de Oliveira Spagnolo pelo fornecimento de parte dos dados de uso e cobertura da terra utilizados nesta tese.

Aos amigos do doutorado Verônica Moreira Ramos, Cristiane Batista Salgado, Miriam Rodrigues da Silva, Wátilla Portela Machado e Marcus Fábio Ribeiro Farias pela boa convivência, pelo compartilhamento de angústias, conquistas e pelas discussões produtivas. Os desabafos e conversas "jogadas fora" também foram importantes!

Aos amigos e colegas do Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais da UnB (LSIE), em especial Potira Meirelles Hermuche, Natanael Antunes Abade, Wilma Tavares Braga, Níckolas Castro Santana, Nadia Romina Cardozo Escobar, Paulo Henrique dos Santos Silva, Ricardo Eller Aranha, Jonathan Vinagre Braga, Priscila Lopes Soares da Costa Taveira, Gabriela de Oliveira Romão. Cada um tinha a sua pesquisa individual, entretanto, muitas das angústias e inquietações eram comuns!

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UnB, em especial às professoras Lúcia Cony Faria Cidade e Marília Luiza Peluso pelas contribuições advindas das atividades e discussões da disciplina "Seminário em Geografia - Doutorado".

Aos funcionários da Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UnB (POSGEA) pela atenção fornecida durante a permanência no programa.

De modo muito especial, agradeço aos amigos e colegas de trabalho da Pró-Reitoria de Ensino; da Coordenação de Acesso e Ingresso; e do Campus Gama do IFB, pelo apoio e incentivo.

A todos(as) que direta ou indiretamente contribuíram na elaboração desta tese.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>xv</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xxi</b>
<b>CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO GERAL.....</b>	<b>23</b>
1.1 - INTRODUÇÃO .....	23
1.2 - ESTUDO DA PAISAGEM NA ECOLOGIA DE PAISAGEM.....	29
1.3 - ORGANIZAÇÃO DA TESE .....	32
1.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34
<b>CAPÍTULO 2 - DETECÇÃO DE MUDANÇA DO USO E COBERTURA DA TERRA USANDO O MÉTODO DE PÓS-CLASSIFICAÇÃO NA FRONTEIRA AGRÍCOLA DO OESTE DA BAHIA SOBRE O GRUPO URUCUIA DURANTE O PERÍODO 1988- 2011 .....</b>	<b>42</b>
2.1 - INTRODUÇÃO .....	43
2.2 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	45
2.2.1 - Imagens utilizadas .....	46
2.2.1.1 - Imagens PRISM/ALOS.....	47
2.2.1.2 - Imagens TM/Landsat 5.....	47
2.2.2 - Detecção de mudança pelo método de pós-classificação.....	48
2.2.2.1 - Classificação das imagens PRISM/ALOS .....	48
2.2.2.2 - Classificação das imagens TM/Landsat 5 .....	50
2.2.2.3 - Detecção e quantificação das mudanças .....	50
2.3 - RESULTADOS .....	51
2.3.1 - Dinâmica do uso e cobertura da Terra .....	51
2.3.2 - Padrões das Áreas de Mudança.....	55
2.4 - DISCUSSÕES.....	59

2.5 - CONCLUSÃO .....	65
AGRADECIMENTOS .....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66
<b>CAPÍTULO 3 - LANDSCAPE-FRAGMENTATION CHANGE DETECTION DUE TO AGRICULTURAL EXPANSION IN THE BRAZILIAN SAVANNA, WESTERN BAHIA, BRAZIL (1988-2011).....</b>	<b>73</b>
3.1 - INTRODUCTION.....	74
3.2 - MATERIAL AND METHODS .....	76
3.2.1 - Study area.....	76
3.2.2 - Land-use and land-cover maps.....	78
3.2.2.1 - Mapping using PRISM/ALOS images.....	78
3.2.2.2 - Multi-temporal mapping using Landsat images.....	78
3.2.3 - Traditional landscape metrics analysis.....	79
3.2.4 - Morphological Spatial Pattern Analysis.....	79
3.2.5 - Fragmentation change detection.....	80
3.3 - RESULTS.....	80
3.3.1 - Multitemporal analysis of the LULC classes .....	80
3.3.2 - Landscape-fragmentation change detection by the traditional landscape metrics analysis .....	82
3.3.3 - Landscape-fragmentation change detection by the Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA).....	82
3.4 - DISCUSSION .....	87
3.5 - CONCLUSIONS .....	92
REFERENCES .....	93
<b>CAPÍTULO 4 – DEFORESTATION ANALYSIS IN PROTECTED AREAS AND SCENARIO SIMULATION FOR STRUCTURAL CORRIDORS IN THE AGRICULTURAL FRONTIER OF WESTERN BAHIA, BRAZIL .....</b>	<b>103</b>
ABSTRACT .....	103
4.1 - INTRODUCTION.....	104
4.2 - MATERIAL AND METHODS .....	108
4.2.1 - Study area.....	108

4.2.2 - Mapping of the Permanent Preservation Areas (PPAs) .....	109
4.2.3 - Conservation units in the study area .....	110
4.2.4 - Scenario simulation using Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA).....	113
4.3 - RESULTS.....	114
4.3.1 - Permanent Preservation Areas (PPAs) in the study area .....	114
4.3.2 - Conservation Units in the study area.....	115
4.3.3 - Scenarios simulation for structural connectivity .....	118
4.4 - DISCUSSION .....	119
4.5 - CONCLUSIONS .....	124
REFERENCES .....	124
<b>CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>134</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Fig. 1.1</b> - Fluxograma da tese. ....	<b>33</b>
<b>Fig. 2.1</b> - Mapa de localização da área de estudo. ....	<b>46</b>
<b>Fig. 2.2</b> - Mapa de uso e cobertura da Terra da área de estudo elaborado a partir da interpretação visual do mosaico de imagens PRISM/ALOS dos anos de 2007-2010. ....	<b>51</b>
<b>Fig. 2.3</b> - Evolução temporal do uso e cobertura da Terra obtida a partir da classificação manual das imagens TM/Landsat 5 do período de 1988 a 2011. ....	<b>53</b>
<b>Fig. 2.4</b> - Gráfico com as porcentagens de área das classes: agropecuária, vegetação natural e vegetação alterada para a área de estudo. ....	<b>54</b>
<b>Fig. 2.5</b> - Gráfico com as porcentagens de área das classes: área urbana, reflorestamento e corpos d'água para a área de estudo. ....	<b>54</b>
<b>Fig. 2.6</b> - Mapa de detecção de mudança da agropecuária na área de estudo entre os períodos do mapeamento. ....	<b>56</b>
<b>Fig. 2.7</b> - Mapa de padrões das áreas de mudança da agropecuária na área de estudo. ....	<b>56</b>
<b>Fig. 2.8</b> - Área plantada de algodão, milho e soja na área de estudo de 1990 a 2012. Fonte: IBGE, 2014. ....	<b>64</b>
<b>Fig. 2.9</b> - Quantidade produzida de algodão, milho e soja na área de estudo de 1990 a 2012. Fonte: IBGE, 2014. ....	<b>64</b>
<b>Fig. 2.10</b> - Área plantada de arroz, café e feijão na área de estudo de 1990 a 2012. Fonte: IBGE, 2014. ....	<b>64</b>
<b>Fig. 2.11</b> - Quantidade produzida de arroz, café e feijão na área de estudo de 1990 a 2012. Fonte: IBGE, 2014. ....	<b>65</b>
<b>Fig. 3.1</b> - Study area location. ....	<b>76</b>
<b>Fig. 3.2</b> - Maps of terrain and rainfall attributes of study area: (a) elevation map generated from SRTM data, (b) slope, and (c) average rainfall (data from National Agency of Water and National Institute of Meteorology). ....	<b>77</b>
<b>Fig. 3.3</b> - Area percentage of land-use/land-cover classes in the study area during the period 1988-2011. ....	<b>81</b>

<b>Fig. 3.4</b> - Traditional landscape metrics of the study area during the period 1988-2011: (a) CA, (b) TE, (c) ED, (d) MPE, (e) NumP, (f) MPS, (g) PSSD, (h) PSCoV, (i) MSI, (j) AWMSI, (l) MPFD, (m) AWMPFD, (n) DIVISION, (o) MESH, and (p) SPLIT. ....	<b>83</b>
<b>Fig. 3.5</b> - Area percentage of MSPA attributes for the study area: (a) core, (b) islet, (c) edge, (d) perforation, (e) bridge, (f) loop, and (g) branch. ....	<b>84</b>
<b>Fig. 3.6</b> - Patch number of MSPA classes for study area: (a) core, (b) islet, (c) edge, (d) perforation, (e) bridge, (f) loop, and (g) branch. ....	<b>85</b>
<b>Fig. 3.7</b> - Effect of edge width variation in MSPA classes: (a) MSPA classes for 2011 with edge width of 300m; (b) detail of the MSPA class for all years and edge width of 30m, 150m and 300m. ....	<b>87</b>
<b>Fig. 3.8</b> - Exemplification of change detection in the MSPA classes (edge width of 300m): a) area location map; b) cross-tabulation image between 1988-1992; c) 1992-1996; d) 1996-2000; e) 2000-2004; f) 2004-2008; and g) 2008-2011. ....	<b>88</b>
<b>Fig. 3.9</b> - Map of the main highways of the area of study, containing areas of natural vegetation and anthropic use in 2011. ....	<b>90</b>
<b>Fig. 4.1</b> - Location map of study area. ....	<b>109</b>
<b>Fig. 4.2</b> - Land use/land cover classes mapped for PPAs obtaining: a) rivers; b) natural lakes; c) artificial reservoirs; d) plateaus edges; e) springs; and f) hydromorphic soils (humid areas). ....	<b>111</b>
<b>Fig. 4.3</b> - Conservation Units in the study area: (a) Full Protection Units; and (b) Sustainable Use Units. ....	<b>112</b>
<b>Fig. 4.4</b> - Land use/land cover in Full Protection Units in the study area: a) Grande Sertão Veredas National Park; b) Serra Geral do Tocantins Ecological Station; c) Nascentes do Rio Parnaíba National Park; and d) Veredas do Oeste Baiano Wildlife Refuge. ....	<b>116</b>
<b>Fig. 4.5</b> - Land use/land cover in Sustainable Use Units in study area: a) Cristópolis National Forest; b) Rio Preto Environmental Protection Area; c) Bacia do Rio de Janeiro Environmental Protection Area; and d) São Desidério Environmental Protection Area. ....	<b>117</b>
<b>Fig. 4.6</b> - Some of the simulated scenarios: a) Scenario 4 with edge width of 15 meters; b) Scenario 4 with edge width of 510 meters; and c) Scenario 4 with edge width of 1005 meters. ....	<b>121</b>



## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> - Órbita/ponto das imagens TM do Landsat 5 utilizadas. ....	<b>48</b>
<b>Tabela 2.2</b> - Classes de uso e cobertura da Terra obtidas a partir das imagens PRISM/ALOS. .....	<b>49</b>
<b>Tabela 2.3</b> - Classes de uso e cobertura da Terra utilizadas neste trabalho. ....	<b>49</b>
<b>Tabela 2.4</b> - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 1988 a 1992. ....	<b>57</b>
<b>Tabela 2.5</b> - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 1992 a 1996. ....	<b>57</b>
<b>Tabela 2.6</b> - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 1996 a 2000. ....	<b>57</b>
<b>Tabela 2.7</b> - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 2000 a 2004. ....	<b>58</b>
<b>Tabela 2.8</b> - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 2004 a 2008. ....	<b>58</b>
<b>Tabela 2.9</b> - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 2008 a 2011. ....	<b>58</b>
<b>Table 3.1</b> - Change detection of MSPA classes and background (in hectares) between 1988 and 2011 in Western Bahia, Brazil. ....	<b>86</b>
<b>Table 4.1</b> - Main government programs for the development of Brazilian agriculture. Fontes: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES ( <a href="http://www.bndes.gov.br/">http://www.bndes.gov.br/</a> ). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA ( <a href="http://www.agricultura.gov.br/">http://www.agricultura.gov.br/</a> ).....	<b>105</b>
<b>Table 4.2</b> - Groups, categories, possession type, and uses allowed by law in Brazilian Protected Areas. ....	<b>107</b>
<b>Table 4.3</b> - Permanent Preservation Areas (PPA) mapped in the study area. ....	<b>110</b>
<b>Table 4.4</b> - Representativeness of the Protected Areas within the study area. ....	<b>113</b>
<b>Table 4.5</b> - Representativeness of the Permanent Preservation Areas in the study area. ....	<b>115</b>
<b>Table 4.6</b> - Land use/land cover in Permanent Preservation Areas for ALOS mosaic. ....	<b>115</b>
<b>Table 4.7</b> - Area of Morphological Spatial Pattern Analysis classes (in percentage) for real scenario and four simulations. ....	<b>119</b>

**Table 4.8** - Patch number of Morphological Spatial Pattern Analysis classes for real scenario and four simulations. .... **120**

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABC – Programa para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura
- ADENE – Agência de Desenvolvimento do Nordeste
- AGRINVEST – Programa de Investimento para Modernização da Agricultura Baiana
- AIBA – Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia
- ALOS – *Advanced Land Observing Satellite*
- APP – Área de Preservação Permanente
- APPs – Áreas de Preservação Permanente
- AWMPFD – *Area weighted mean patch fractal dimension*
- AWMSI – *Area weighted mean shape index*
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- CA – *Class area*
- CBERS – *China-Brazil Earth Resources Satellite*
- CCD – *Couple Charged Device*
- CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
- CAMPO – Companhia de Promoção Agrícola
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- DIVISION – *Landscape division index*
- EBDA – Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola
- ED – *Edge density*
- EMATER-BA – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural da Bahia
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EPABA – Empresa de Pesquisa Agropecuária da Bahia
- ETM+ – *Enhanced Thematic Mapper Plus*
- FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
- FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos
- FPU – *Full Protection Unit*
- FPU's – *Full Protection Units*
- FRAGSTATS – *Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps*
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
 IFB – Instituto Federal de Brasília  
 IICA – Instituto Interamericano de Comércio e Agricultura  
 INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia  
 INGÁ – Instituto de Gestão das Águas e Clima  
 INOVAGRO – Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica na Produção Agropecuária  
 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
 ISODATA – *Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*  
 JAXA – *Japan Aerospace Exploration Agency*  
 LANDSAT – *Land Remote Sensing Satellite*  
 LR – *Legal Reserve*  
 LRs – *Legal Reserves*  
 LSIE – Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais  
 LULC – *Land-use/land-cover*  
 MAIC – Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio  
 MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
 MCD – *Morphological Change Detection*  
 MESH – *Effective mesh size*  
 MMA – Ministério do Meio Ambiente  
 MODERAGRO – Programa de Modernização da Agricultura e Conservação de Recursos Naturais  
 MODERFROTA – Programa de Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos Associados e Colheitadeiras  
 MODERINFRA – Programa de Incentivo à Irrigação e à Armazenagem  
 MPE – *Mean patch edge*  
 MPFD – *Mean patch fractal dimension*  
 MPS – *Mean patch size*  
 MSI – *Mean shape index*  
 MSPA – *Morphological Spatial Pattern Analysis*  
 MSS – *Multispectral Scanner System*  
 NASA – *National Aeronautics and Space Administration*  
 NFA – *National Forest Act*  
 NSCU – *National System of Conservation Units*  
 NumP – *Number of patches*

OECD – *Organisation for Economic Co-operation and Development*

PA – *Protected Area*

PAFAI – Programa de Assistência Financeira à Agroindústria e a Indústria de Insumos, Máquinas, Tratores e Implementos Agropecuários

PAAs – *Protected Areas*

PCA – Programa para Construção e Ampliação de Armazéns

PDAN – Programa de Desenvolvimento da Agroindústria do Nordeste

PPA – *Permanent Preservation Area*

PPAs – *Permanent Preservation Areas*

PPGGEA – Programa de Pós-Graduação em Geografia (UnB)

PRISM – (Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping)

PROALBA – Programa de Incentivo ao Algodão na Região Oeste do Estado da Bahia

PROCAP-AGRO – Programa de Capitalização de Cooperativas Agropecuárias

PRODECAF – Programa de Desenvolvimento da Cafeicultura do Oeste do Estado da Bahia

PRODECER – Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados

PRODECOOP – Programa de Desenvolvimento Cooperativo para Agregação de Valor à Produção Agropecuária

PROFIR – Programa de Financiamento de Equipamentos de Irrigação

PROINE – Programa de Irrigação do Nordeste

PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

PRONAMP – Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural

PRONI – Programa Nacional de Irrigação

PROTERRA – Programa de Redistribuição de Terras e de Estímulo à Agroindústria do Norte e do Nordeste

PSCoV – *Patch size coefficient of variation*

PSSD – *Patch size standard deviation*

RL – Reserva Legal

RMSE – *Root mean squared error*

SAU – Sistema Aquífero Urucuaia

SEAGRI – Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Reforma Agrária, Pesca e Aquicultura da Bahia

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

SPLIT – *Splitting index*

SRH – Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia  
SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste  
SUU – *Sustainable Use Unit*  
SUUs – *Sustainable Use Units*  
TE – Total edge  
TM – *Thematic Mapper*  
TNC – *The Nature Conservancy*  
UC – Unidade de Conservação  
UnB – Universidade de Brasília  
UTM – *Universal Transverse Mercator*  
v-LATE – Vector-based landscape analysis tools extension

## RESUMO

O objetivo geral desta tese é quantificar os padrões de paisagem e suas respectivas mudanças espaço-temporais durante o período de 1988 a 2011, além de identificar as principais implicações destas mudanças na conservação do bioma Cerrado na fronteira agrícola do Oeste da Bahia. A área de estudo é restrita aos solos sobre o Grupo Urucuia (Cretáceo Superior), que é composta por arenitos continentais relacionados a ambiente desértico. Esta formação geológica gera áreas planas com predominância de Latossolos, caracterizado por textura média, excessivamente drenados e adequado para o desenvolvimento da agricultura intensiva e mecanizada. A tese foi organizada na forma de 5 (cinco) capítulos, sendo que os capítulos de desenvolvimento (capítulos 2, 3 e 4) foram redigidos na forma de artigos científicos. No Capítulo 1, apresentamos o problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, e apresentamos o conceito de paisagem na perspectiva da Ecologia de Paisagem. No Capítulo 2 (artigo 1), sistematizamos e complementamos o banco de dados vetorial multitemporal do uso e cobertura da Terra pela interpretação visual de imagens TM/Landsat dos anos de 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008 e 2011; realizamos a detecção de mudança do uso e cobertura da Terra pelo método de pós-classificação; sistematizamos as principais políticas públicas que influenciaram na ocupação do Oeste da Bahia e sistematizamos os dados oficiais do IBGE sobre a produção agrícola da região. A interpretação visual das imagens TM/Landsat permitiu o mapeamento multitemporal de seis classes de uso e cobertura da Terra: agropecuária, áreas urbanas, corpos d'água, reflorestamento, vegetação alterada e vegetação natural. Durante o período, as principais alterações ocorreram nas classes de vegetação natural (decréscimo de 26,57%) e agropecuária (acrécimo de 27,13%). O avanço da agropecuária ocorreu principalmente em áreas de vegetação nativa. No Capítulo 3 (artigo 2), analisamos as mudanças na fragmentação da paisagem durante o período de 1988 a 2011 pela aplicação de dois procedimentos distintos: a) métricas tradicionais da paisagem; e b) Análise dos Padrões Espaciais Morfológicos (*Morphological Spatial Pattern Analysis* - MSPA). O cálculo dos atributos da MSPA considerou 10 larguras de borda, entre 30 e 300 metros. As métricas tradicionais da paisagem foram obtidas pelos programas *Path Analyst* e *V-Late*. A detecção de mudança nas classes da MSPA foram obtidas por meio de tabulação cruzada. Inicialmente,

as áreas mais desmatadas e fragmentadas concentravam-se na parte oeste da área de estudo, e com tempo, avançaram gradualmente para a parte leste. A análise indicou aumento na fragmentação da paisagem. No Capítulo 4 (artigo 3), obtivemos a representatividade das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e das Unidades de Conservação (UCs) existentes na área de estudo; quantificamos a área de APP com uso ilegal da Terra a partir de mapeamento de detalhe obtido por interpretação visual de imagens PRISM/ALOS elaborado pelo Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais da Universidade de Brasília em parceria com o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura e o Ministério da Integração Nacional; realizamos a avaliação multitemporal do desmatamento (1988 a 2011) dentro das Unidades de Conservação existentes na área de estudo; e aplicamos a análise morfológica (*Morphological Spatial Pattern Analysis*) em quatro simulações de cenários para avaliar o potencial das APPs como corredores estruturais. Os cenários simulados tiveram um aumento gradual de área recuperada: (a) cenário real (remanescente de vegetação natural obtida pelas imagens PRISM/ALOS); (b) Cenário 1 (cenário real + APPs e UCs recuperadas); Cenário 2 (cenário 1 + solos hidromórficos); Cenário 3 (cenário 2 + Reserva Legal de 50 metros em volta dos solos hidromórficos); e (d) Cenário 4 (Cenário 3 + Reserva Legal de 200 metros em volta dos solos hidromórficos). As Áreas de Preservação Permanente representam 3.54% da área de estudo, sendo que 4.35% deste total possui algum tipo de uso ilegal da Terra em seu interior. No período estudado, houve aumento na quantidade e na área das Unidades de Conservação. Entretanto, a caracterização multitemporal demonstrou que há áreas desmatadas até mesmo em Parques Nacionais e Estações Ecológicas, onde o uso da Terra é extremamente restrito. A inserção de áreas recuperadas nos cenários simulados permitiu o aumento das áreas de paisagem com núcleo, entretanto, não resultou em um aumento contínuo das pontes (classe da MSPA que representa a conectividade estrutural entre os fragmentos). A inserção de áreas recuperadas nas simulações de cenários também reduziu a fragmentação da paisagem na área de estudo. A flexibilidade na demarcação das áreas de Reserva Legal pode ser uma alternativa para a conservação de áreas frágeis como os solos hidromórficos e as zonas úmidas ripárias, além de criar uma faixa de amortecimento entre as áreas de ocupação humana e as Unidades de Conservação. Por fim, no Capítulo 5, apresentamos as considerações e conclusões gerais sobre os resultados obtidos na tese.

**Palavras chave:** padrões de paisagem, detecção de mudança, mudanças na fragmentação da paisagem, conservação do Cerrado, simulação de cenários, Oeste da Bahia.



## ABSTRACT

The overall objective of this thesis is quantify landscape patterns and their spatiotemporal changes over the period 1988-2011, besides identifying the main implications of these changes in the Cerrado biome conservation in the agricultural frontier of Western Bahia. The study area is restricted to soils over the Urucuia Group (Late Cretaceous), which is composed by continental sandstones related to desert environment. This geological formation generates flat areas with a predominance of Oxisols, characterized by medium texture, excessively drained and suitable for the development of intensive and mechanized agriculture. The thesis was organized in the form of five (5) chapters, and the development chapters (Chapters 2, 3 and 4) were drafted in the scientific articles form. In Chapter 1, we present the research problem, the general and specific objectives, and we present the landscape concept in the Landscape Ecology perspective. In Chapter 2 (article 1), we systematize and complement the multitemporal vector database of the land-cover and land-use by the visual interpretation from Landsat TM image of the years 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008 and 2011; we realize the land-cover/land-use change detection by post-classification method; we systematize the main public policies that influenced the Western Bahia occupation and systematize the IBGE official data on agricultural production in the region. The visual interpretation of Landsat TM image allowed the multitemporal mapping of the six classes of land-use/land-cover: agriculture and livestock, urban areas, water bodies, reforestation, altered vegetation and natural vegetation. During the period, major changes occurred in the natural vegetation classes (down 26.57%) and agriculture and livestock (27.13%). The advancement of agriculture and livestock was mainly on areas of native vegetation. In Chapter 3 (article 2), we analyze the landscape-fragmentation change detection during the period 1988-2011 by the application of two different procedures: (a) traditional landscape metrics; and (b) Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA). The calculation of MSPA attributes considered 10 edge widths, between 30 meters and 300 meters. Traditional landscape metrics were obtained from Path Analyst and V-Late software. Change detection in MSPA classes was obtained through cross-tabulation. Initially, the most deforested and fragmented areas are concentrated in the western part of the study area, and with time, gradually progresses towards for the eastern part. The analysis indicated increase in landscape fragmentation. In Chapter 4 (article 3), we obtained the representativeness of Permanent Preservation Areas (PPA) and Protected Area (PA) existing in the study area; we quantify the PPA area with

illegal land use through detail mapping obtained by visual interpretation of PRISM/ALOS image elaborated by Laboratory of Spatial Information System of the University of Brasilia in partnership with Inter-American Institute for Cooperation and Agriculture and the Ministry of National Integration; we perform the multitemporal evaluation of deforestation (1988-2011) within existing Protected Areas in the study area; and we apply morphological analysis (Morphological Spatial Pattern Analysis) in four scenario simulation to assess the PPAs potential as structural corridors. The scenario simulations had a gradual increase in recovered area: (a) Real scenario (remaining natural vegetation obtained through PRISM/ALOS image); (b) Scenario 1 (remaining natural vegetation + PPAs and PA recovered); (b) Scenario 2 (Scenario 1 + hydromorphic soils); (c) Scenario 3 (Scenario 2 + Legal Reserve of 50 meters around the hydromorphic soils); and (d) Scenario 4 (Scenario 3 + Legal Reserve of 200 meters around the hydromorphic soils). Permanent Preservation Areas represents 3.54% of the study area, being that 4.35% of this total has some type of illegal land use inside her. In the period studied, there was increase in the quantity and area of Protected Areas. However, the multitemporal characterization showed that there deforested areas even in National Parks and Ecological Station, where the land use is extremely restricted. Insertion of recovered areas in the scenarios simulated allowed the increase of landscape areas with core, however, did not result in a continuous increase of the bridges (MSPA class that represents the structural connectivity between fragments). Insertion of recovered areas in the scenario simulations also decreased landscape fragmentation in the study area. Flexibility in the demarcation of areas of Legal Reserve may be an alternative for preservation of fragile areas as hydromorphic soils and riparian wetlands, besides creating a damping strip between the human occupation areas and the Protected Areas. Finally, in Chapter 5, we present the general considerations and conclusions on the results obtained in the thesis.

**Keywords:** landscape patterns, change detection, landscape fragmentation changes, Cerrado conservation, scenario simulations, Western Bahia.

## CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO GERAL

### 1.1 - INTRODUÇÃO

Os padrões de paisagem estão ligados à biodiversidade e outros valores ecológicos dos ecossistemas (TURNER, 1989; TURNER, 1990; GUSTAFSON, 1998; UUEMAA *et al.*, 2013). O rompimento desses padrões pode comprometer a integridade funcional e a saúde dos habitat, além de interferir nos processos ecológicos necessários para a sobrevivência das populações e aumentar o risco de extinção de espécies (FORMAN & GODRON, 1986; FORMAN, 1995; WITH, 1997; LI *et al.*, 2011). As perturbações nos padrões de paisagem são resultantes principalmente da ação humana, como o desenvolvimento de cidades, assentamentos, supressão de vegetação natural para o uso agropecuário e a implantação de infraestruturas diversas (NAVEH & LIEBERMAN, 1993; BUREL & BAUDRY, 2004; LLAUSÀS & NOGUÉ, 2012; UUEMAA *et al.*, 2013).

A Ecologia de Paisagem, uma ramificação da Ecologia moderna (NAVEH & LIEBERMAN, 1993), desenvolveu um grande arcabouço analítico para o estudo dos padrões de paisagem. Os procedimentos utilizados incluem diversos índices, métricas, modelos estatísticos e modelos matemáticos (FORMAN & GODRON, 1986; TURNER, 1989; FORMAN, 1995; MCGARIGAL & MARKS, 1995; RIITERS *et al.*, 1996; GUSTAFSON, 1998; SOARES FILHO, 1998; JAEGER, 2000; LINDENMAYER & FISCHER, 2006). Mais recentemente, o processamento de imagens morfológicas também tem sido empregado na caracterização e quantificação dos padrões de paisagem (VOGT *et al.*, 2007a; VOGT *et al.*, 2007b; SOILLE & VOGT, 2009; VOGT *et al.*, 2009). Além disso, assim como na Geografia, a análise das mudanças espaciais e temporais também tem merecido atenção nos estudos da Ecologia de Paisagem, (TURNER, 1990; SAURA *et al.*, 2011; WALZ, 2015). Os dados espaciais utilizados nestas análises tem sido extraídos principalmente de mapeamentos de uso e cobertura da Terra, geralmente obtidos por meio da interpretação de fotografias aéreas e/ou imagens de satélites; mapeamentos realizados em campo; dados publicados por órgãos oficiais e de censos (TURNER *et al.*, 2001).

Entretanto, levantamento realizado por Uuemaa *et al.* (2013), em revistas internacionais indexadas pela *Thomson Reuters Web of Knowledge* de janeiro de 2000 a

dezembro de 2010 sobre os termos “*landscape metrics*”, “*landscape indexes*” e “*landscape indices*” indica que a maior parte desses estudos concentram-se nos Estados Unidos, Europa e na China, e que de um modo geral, pouca atenção tem sido dada às áreas com ocupação agrícola, que atualmente são responsáveis pela retirada de grandes áreas de vegetação natural.

Neste contexto, por abrigar algumas das principais fronteiras agrícolas do Brasil, o bioma Cerrado tem apresentado significativas taxas de supressão de vegetação natural. Estudo realizado por Mantovani & Pereira (1998) estima que em 1993, 30% dos 204 milhões de hectares do Cerrado brasileiro já estavam fortemente antropizados. Mapeamento realizado com imagens do sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (Landsat ETM+) de 2002 por Sano *et al.* (2010) mostrou que cerca de 40% do Cerrado já havia sido transformado em áreas agrícolas, pastagens cultivadas e em outros tipos de usos da Terra. Machado *et al.* (2004) estimam que em 2002 cerca de 55% do Cerrado já havia sido desmatado. Dados oficiais do monitoramento do desmatamento do Bioma Cerrado (MMA-IBAMA, 2011), estimam que em 2010, cerca de 48,54% da área natural do Cerrado havia sido convertida em outros tipos de usos da Terra.

O processo de ocupação deste bioma é o resultado das inovações tecnológicas e organizacionais na agricultura brasileira a partir da década de 1970, que geraram uma intensa transformação do espaço agrícola e um vigoroso movimento populacional intra e inter-regional (SANTANA, 2008). O avanço da agropecuária no Cerrado também se deve ao fato de boa parte do relevo ser de plano a suave ondulado, o que facilita o emprego da mecanização, e os solos, apesar de serem ácidos e de baixa fertilidade, poderem ser corrigidos (MANZATTO *et al.*, 2002; KLINK & MACHADO, 2005). Desse modo, com o passar dos anos, o Cerrado brasileiro passou a ser uma importante área produtora de grãos (BRANNSTROM, 2005; JASINSKI *et al.*, 2005) e de formação de pastagens (FERREIRA *et al.*, 2013).

Além de ser uma importante fronteira agrícola do Brasil (BRANNSTROM, 2005), o bioma Cerrado possui a mais rica flora dentre as savanas do mundo, com alto nível de endemismo (RATTER *et al.*, 1997; SILVA & BATES, 2002). A supressão da vegetação natural deste bioma tem resultado no aumento da fragmentação da paisagem (CABACINHA & CASTRO, 2009; SANTANA *et al.*, 2009; GRECCHI *et al.*, 2014) e no isolamento dos habitat (CARVALHO *et al.*, 2009), o que pode resultar em interferências na fauna silvestre e até mesmo na extinção de espécies (RATTER *et al.*, 1997; KLINK & MACHADO, 2005; LINDENMAYER & FISCHER, 2006). Com isso, o bioma Cerrado tem sido considerado um

*hotspots* de biodiversidade prioritários para a conservação (MYERS *et al.*, 2000; SILVA & BATES, 2002).

A legislação ambiental brasileira estabelece alguns instrumentos para a preservação e conservação deste bioma. O Código Florestal (Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012) e as Resoluções 302/2002 e 303/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), determina a demarcação de Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reservas Legais (RL). No Cerrado, entretanto, essa legislação nem sempre é respeitada (KLINK & MACHADO, 2005; SANTANA *et al.*, 2009). O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC (Lei Federal nº 9.985 de 2000) estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão de unidades de conservação, divididas em Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. Entretanto, estima-se que em 2011, apenas 7,44% da área natural do Cerrado Brasileiro estava protegida por unidades de conservação, sendo que destas, apenas cerca de 2,91% estavam protegidas na forma de unidades de proteção integral (MMA-IBAMA, 2011). Klink & Machado (2005) estimam que cerca de 20% das espécies ameaçadas ou endêmicas do Cerrado não ocorram nas áreas legalmente protegidas. Além disso, mesmo com legislação ambiental específica, há a ocorrência de uso ilegal da Terra em áreas protegidas do Cerrado (SPAROVEK *et al.*, 2010).

Neste contexto, a região do Oeste da Bahia, especialmente sobre os solos do Grupo Urucuia, se tornou uma das principais fronteiras agrícolas do Bioma Cerrado no Brasil (BRANNSTROM, 2005; SANO *et al.*, 2011). Dentre os principais fatores que impulsionaram a ocupação desta região está a construção da Rodovia Brasília-Salvador no final da década de 1960; os incentivos da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE); o domínio da tecnologia de manejo dos solos dos Cerrados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); o Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER); a criação de programas governamentais de acesso à terra, aquisição de maquinários, compra de insumos agrícolas e de apoio à irrigação; e os programas governamentais de apoio ao plantio de café e de algodão (SANTANA, 2008; BRANDÃO, 2010; MENKE *et al.*, 2009). O resultado desse processo de ocupação do Oeste da Bahia foi uma intensa migração de agricultores vindos do sul do Brasil, em especial do estado do Rio Grande do Sul (HAESBAERT, 1995; BRANNSTROM & BRANDÃO, 2012) e um grande desenvolvimento da agricultura mecanizada (MENDONÇA, 2006).

Por estas e outras razões, a região do Oeste da Bahia tem sido foco de estudos sobre as mudanças no uso e cobertura da Terra. Batistella *et al.* (2002) empregaram técnicas de geotecnologias em imagens dos sensores TM/Landsat (*Thematic Mapper*) e ETM+ (*Enhanced*

*Thematic Mapper Plus*) referentes aos anos de 1985 e 2000 para mapear o uso e cobertura da Terra, em escala de 1:250.000, de parte da área do Oeste da Bahia. Brannstrom *et al.* (2008) utilizaram a classificação não supervisionada ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*) em imagens Landsat para analisar as mudanças no uso e cobertura da Terra em parte dos municípios de Barreiras, Luis Eduardo Magalhães, São Desidério e Correntina. Sano *et al.* (2011) aplicaram a técnica de segmentação por crescimento de regiões e interpretação visual em tela dos polígonos, em escala aproximada de 1:50.000, para classificar imagens TM/Landsat do período de 1985 a 2005 (espaçadas de 5 em 5 anos) de toda a Mesorregião do Extremo Oeste da Bahia.

Mapeamento de detalhe do uso e cobertura da Terra de toda a região do Oeste da Bahia, em escala de apresentação 1:25.000, foi elaborado a partir de um mosaico de imagens do sensor PRISM/ALOS do período de 2007 a 2010 pelo Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE) da Universidade de Brasília (UnB) por meio do Projeto "Geoprocessamento e Cadastramento de Propriedades do Oeste Baiano" desenvolvido em parceria com o Instituto Interamericano de Comércio e Agricultura (IICA) e o Ministério da Integração Nacional. Neste projeto, as classes de uso e cobertura da Terra foram mapeadas a partir da interpretação visual em escala 1:2.000 das imagens pancromáticas de 8 bits, referentes ao produto 1B2 do sensor PRISM/ALOS com resolução espacial de 2,5 metros, e pela vetorização manual em tela no software ArcGIS 9.3. A interpretação das imagens do sensor PRISM/ALOS permitiu a elaboração de um mapa base de uso e cobertura da Terra contínuo e padronizado com 26 classes distintas.

Trabalhos realizados em vários municípios da região do Oeste da Bahia utilizaram o mapeamento realizado pelo Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais da UnB para a caracterização multitemporal do uso e cobertura da Terra. Nestes trabalhos empregou-se a técnica da retro-análise temporal das imagens TM/Landsat 5, onde utilizou-se a interpretação visual para reclassificar manualmente dos polígonos com as classes de uso e cobertura da Terra obtidas a partir das imagens PRISM/ALOS. Inicialmente as imagens TM do Landsat 5 foram co-registradas com as imagens PRISM/ALOS, para obter a sobreposição, e em seguida, foram mosaicadas utilizando-se o software ENVI. A retro-análise foi aplicada nos seguintes anos e municípios:

- **1984, 1988, 1992, 1996, 2000 e 2004** em São Desidério (SPAGNOLO *et al.*, 2012);
- **1988, 1992, 1996, 2000 e 2004** em Barreiras (FLORES *et al.*, 2012) e Baianópolis (GUIMARÃES, 2012);

- **1988, 1992, 1996, 2000, 2004 e 2008** em Riachão das Neves (GURGEL *et al.*, 2013), Formosa do Rio Preto (CASTRO *et al.*, 2013) e Correntina (PINHEIRO, 2012);
- **1987, 1991, 1994, 1998, 2001, 2004, 2005 e 2007** em Luís Eduardo Magalhães (MENKE *et al.*, 2009);
- **1996, 2000, 2004 e 2008** em Cocos (HESSEL *et al.*, 2012).

Entretanto, apesar de haver uma padronização no método de obtenção destes mapeamentos multitemporais, eles não cobrem toda a área do Oeste da Bahia. Além disso, não há uma padronização nas datas escolhidas para os mapeamentos.

Na região do Oeste da Bahia também existem alguns trabalhos que identificaram a ocorrência de uso ilegal da terra em Áreas de Preservação Permanente (APPs) nos municípios de São Desidério (SPAGNOLO *et al.*, 2012), Correntina (PINHEIRO, 2012), Formosa do Rio Preto (CASTRO *et al.*, 2013) e Riachão das Neves (GURGEL, 2011). Entretanto, estes levantamentos ainda não foram realizados para toda a região.

Estudos que avaliam a fragmentação da paisagem por meio de métricas tradicionais do *FRAGSTATS* foram realizados nos municípios de Riachão das Neves (GURGEL, 2011), Correntina (PINHEIRO, 2012) e na bacia do Rio Branco, cobrindo parte dos municípios de Luiz Eduardo Magalhães, Barreiras e Riachão das Neves (Santana *et al.*, 2009). Entretanto, Santana *et al.* (2009) observaram que utilizar apenas as métricas tradicionais do *FRAGSTATS* para estudar a região do Oeste da Bahia pode não ser muito eficiente, pois a população da amostra apresenta diferença entre os maiores fragmentos, que cobrem a maioria absoluta da área, e os menores fragmentos, a maioria absoluta do número de fragmentos, formando assim, uma amostra assimétrica com valores extremos, o que pode interferir nos valores de algumas métricas. Contudo, a simulação de recuperação das áreas de APPs com uso ilegal da Terra resultou em um menor índice de fragmentação, o que pode ser um procedimento a ser aplicado em outros trabalhos na região.

Entretanto, apesar de haver vários estudos sobre as mudanças no uso e cobertura da Terra na região do Oeste da Bahia, ainda não há uma base de dados multitemporal atualizada e padronizada que cubra toda a área. Até o presente momento, a caracterização da situação das APPs e da fragmentação da paisagem foi realizada para parte do Oeste da Bahia. Inexiste um diagnóstico sistemático da situação das Unidades de Conservação (UCs) da região, bem como o levantamento de sua representatividade e de sua eficiência na manutenção da vegetação natural. Além disso, apesar de ser um instrumento da política ambiental brasileira,

não há estudos que avaliam o potencial das APPs como conectores estruturais da paisagem. Havendo, assim, margem para aprofundar os estudos sobre o impacto das mudanças da paisagem sobre os remanescentes de Cerrado.

Considerando o exposto acima, o objetivo geral desta tese é quantificar os padrões de paisagem e suas respectivas mudanças espaço-temporais, além de identificar as principais implicações destas mudanças na conservação do bioma Cerrado na fronteira agrícola do Oeste da Bahia sobre a formação do Grupo Urucuia.

Para atingir o objetivo geral proposto, definimos os seguintes objetivos específicos:

- Detectar as mudanças espaciais do uso e cobertura da Terra pelo método de pós-classificação entre o período de 1988 a 2011.
- Detectar as mudanças na fragmentação da paisagem por meio da classificação morfológica dos remanescentes de vegetação natural e da aplicação de métricas tradicionais de paisagem.
- Quantificar a representatividade das Áreas de Preservação Permanente e das Unidades de Conservação na área de estudo, identificando o impacto do desmatamento, além de avaliar, por meio da simulação de cenários futuros, o potencial das Áreas de Preservação Permanente como conectores estruturais da paisagem.

Diante dos dados existentes e das possibilidades de trabalho, definiu-se como recorte espacial desta tese os municípios do Oeste da Bahia sobre a formação do Grupo Urucuia (área com a maior expansão agrícola na região), e como recorte temporal, os anos de 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008 e 2011.

A opção por sistematizar e complementar os dados multitemporais de uso e cobertura da Terra existentes, seguindo os mesmos procedimentos dos trabalhos anteriores que utilizaram o mapeamento de detalhe do Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais da UnB, se deve à abrangência da área a ser estudada. Gerar um banco de dados exclusivo para a tese demandaria muito tempo, o que poderia comprometer a realização de parte da pesquisa.

A paisagem é uma das categorias de análise da Geografia, com amplos significados e definições, mas também tem sido um conceito muito utilizado em outras ciências, como na Ecologia, Pedologia, Arquitetura, Geomorfologia e principalmente na Ecologia de Paisagem (MARTINS *et al.*, 2004). Nesta perspectiva, a categoria paisagem neste trabalho utilizará de algumas abordagens analíticas da Ecologia de Paisagem.



## 1.2 - ESTUDO DA PAISAGEM NA ECOLOGIA DE PAISAGEM

O termo "ecologia de paisagem" foi introduzido pela primeira vez em 1939 pelo geógrafo alemão Carl Troll, entretanto, as primeiras definições e conceituações foram realizadas por Bertrand em 1975 no trabalho "Pour une histoire ecologique de la France rurale" e por Forman & Godron (1986) no livro "Landscape Ecology" (BUREL & BAUDRY, 2004).

Para Naveh & Lieberman (1993) a Ecologia de Paisagem é uma ramificação da Ecologia moderna. Desse modo, enquanto a Ecologia Tradicional estuda as inter-relações verticais entre plantas, animais, ar, água e solo dentro de uma unidade espacial homogênea, a Ecologia de Paisagem centra-se no estudo das inter-relações horizontais entre as diversas unidades espaciais, sem desconsiderar, entretanto, as relações verticais (SOARES FILHO, 1998). Para isso, a Ecologia de Paisagem integra o seu objeto de estudo, a paisagem, com os seus fatores determinantes, ou seja, o meio ambiente e a sociedade, e os efeitos resultantes desta interação sobre os processos ecológicos (BUREL & BAUDRY, 2004).

Martins *et al.* (2004) realizaram o levantamento da etimologia do conceito de paisagem ao formularem uma proposta de estudo de Ecologia de Paisagem para o Brasil, identificando grandes diferenciações em seu significado. Segundo estes autores, em francês, o termo *paysage* pode ter dois significados, o primeiro de coleção de territórios, e o segundo de resultado de ação no território. Nesta perspectiva, no primeiro caso, o estudo da paisagem teria conotação de diferenciação das características (classificação) de territórios que podem ser agrupados em coleções ou em classes de terra. No segundo caso, indica-se uma conotação de transformação dos territórios por meio da ação de processos dinâmicos. Em inglês, a paisagem é designada como *landscape* [em alemão, *Lantschaft* ou *Landshaft*] e possui quatro significados possíveis: 1) conjunto, coleção, classes (o que é organizado em classes); 2) ação, resultado de ação (o que muda ou está em processo de mudança); 3) cobertura (o que cobre); e 4) descrição (o que descreve) (MARTINS *et al.*, 2004).

Para Forman & Godron (1986) a paisagem é uma unidade distinta e mensurável, podendo ser definida pelo seu conjunto reconhecível e espacialmente repetitivo de ecossistemas interativos e os regimes de perturbação. Nesta perspectiva, propõem que os estudos de Ecologia de Paisagem concentrem-se em três características principais da paisagem: estrutura, função e mudança. A estrutura engloba as relações espaciais entre os ecossistemas distintos ou "elementos da paisagem" presentes, mais especificamente, a distribuição de energia, materiais e espécies em relação aos tamanhos, formas, números, tipos

e configurações dos ecossistemas. A função refere-se às interações entre os elementos espaciais, ou seja, o fluxo de energia, materiais e espécies entre os ecossistemas componentes. E a mudança permite a análise da alteração na estrutura e na função do mosaico ecológico ao longo do tempo (FORMAN & GODRON, 1986).

Zonneveld (1989), propõe três dimensões espaciais para o estudo e classificação das inter-relações horizontais da Ecologia de Paisagem, sendo elas, a topológica, a geoesférica e a corológica. A dimensão topológica engloba os aspectos verticais da paisagem (solo, água, vegetação, clima, animais e ação humana), variando de alguns poucos metros quadrados a vários quilômetros e com pouca variação espacial horizontal. A dimensão geoesférica representa o outro extremo, considerando todo o espaço da superfície global, focando-se nas mudanças globais (efeitos da alteração do nível do mar, das construções e intervenções humanas). Enquanto que a dimensão corológica é tida como intermediária, focando-se nas inter-relações horizontais da paisagem, ou seja, os aspectos espaciais, e por extensão, os temporais.

Portanto, o conceito de paisagem utilizado na Ecologia de Paisagem combina a abordagem horizontal do geógrafo, através do exame das inter-relações espaciais de um fenômeno natural, com a abordagem vertical de um ecologista (SOARES FILHO, 1998). Entretanto, nesta ótica, o estudo da paisagem é mais focado nos padrões e na heterogeneidade espacial: como caracterizá-lo, sua natureza, e como muda no tempo e no espaço (FARINA, 1998; MARTINS *et al.*, 2004).

O modelo mancha-corredor-matriz (*patch-corridor-matrix*), proposto por Forman (1995), é um dos mais utilizados na Ecologia de Paisagem para quantificar os padrões de paisagem. Este modelo propõe que a paisagem é formada pelo agrupamento repetido no espaço de três “elementos da paisagem”, denominados de manchas (*patch*), corredores (*corridor*) e matriz (*matrix*). A matriz é o elemento mais abrangente da paisagem, nela estão presentes todos os demais elementos de não-habitat, como os diversos tipos de uso e cobertura da Terra e os agentes modificadores/perturbadores da paisagem (METZGER, 2001; BUREL & BAUDRY, 2004). A mancha é definida como uma área de superfície ainda com vegetação, não linear e diferente da composição de seus arredores, variando muito em características como tamanho, forma, tipo, heterogeneidade e limite (FORMAN & GODRON, 1986; METZGER, 2001). Os corredores são estreitas faixas de terra com vegetação que difere da matriz em ambos os lados e que conecta duas ou mais manchas (FORMAN, 1995).

Para Forman & Godron (1986) as manchas são resultantes de perturbações diversas como a ação do homem, do fogo e/ou de eventos naturais, e podem ser remanescentes de

áreas naturais, de regeneração/recuperação de áreas perturbadas e de plantios feitos pelo homem. Os corredores permitem o movimento e o intercâmbio genético entre animais e plantas, além de auxiliar na superação das barreiras que inibem tais trocas (SOARES FILHO, 1998; LINDENMAYER & FISCHER, 2006).

Nesta abordagem, a estrutura da paisagem é composta pelos elementos da paisagem matriz, manchas e corredores, sendo que a sua identificação, quantificação, tipificação e configuração resulta na obtenção de "padrões de paisagem" (FORMAN & GODRON, 1986; NAVEH & LIEBERMAN, 1993; FARINA, 1998). Os dados espaciais utilizados nestas análises tem sido extraídos principalmente de mapeamentos de uso e cobertura da Terra. Desse modo, em termos práticos, os remanescentes de vegetação da área mapeada são as manchas da paisagem; as ligações entre duas ou mais manchas são os corredores; enquanto que as classes de não-habitat (uso da Terra) formam a matriz da paisagem (TURNER *et al.*, 2001).

Os estudos de padrões de paisagem têm focado no levantamento e quantificação do uso e cobertura da Terra (ECHEVERRÍA *et al.*, 2012; SU *et al.*, 2012; SUN *et al.*, 2014); na avaliação da situação das manchas, por meio de estudos de fragmentação (GERI *et al.* 2010; PLIENINGER, 2012; SHRESTHA *et al.*, 2012; SÍMOVÁ & GDULOVÁ, 2012; TANG *et al.*, 2012) e de conectividade da paisagem (SAURA *et al.*, 2011; THEOBALD *et al.*, 2011; LIU *et al.*, 2014); e na avaliação e proposição de corredores (ARENDDT, 2004; CHETKIEWICZ *et al.*, 2006; VOGT *et al.*, 2007a). Além disso, vários trabalhos de fragmentação e conectividade da paisagem têm focado na análise espacial e/ou temporal dos padrões de paisagem sem associação explícita com espécies da fauna ou flora (VOGT *et al.*, 2007a; TANG, *et al.*, 2012; KANG & CHOI, 2014; KANG & KIM, 2015).

A fragmentação refere-se à transformação da paisagem a partir de uma paisagem uniforme para uma situação mais heterogênea e irregular, resultando em padrões de cobertura vegetais fragmentados e no isolamento dos habitat (BALDI *et al.*, 2006). As causas da fragmentação geralmente estão relacionadas à atividade humana, como o desenvolvimento de assentamentos, supressão de áreas florestais para o uso agrícola e a implantação de infraestrutura de transporte (LLAUSÀS & NOGUÉ, 2012).

A conectividade é um termo amplamente usado na literatura sobre mudanças da paisagem e pode ser definida como o grau de conexão física entre as manchas ou fragmentos de vegetação da paisagem (LINDENMAYER & FISCHER, 2006). A conectividade visa assegurar uma maior probabilidade de sobrevivência para as populações isoladas (FARINA, 1998). A conectividade da paisagem pode ser classificada em estrutural e funcional (SAURA

*et al.*, 2011). A conectividade estrutural está relacionada apenas aos aspectos físicos da paisagem, ou seja, é a faixa linear de vegetação que conecta as manchas; enquanto que a conectividade funcional leva em conta as interações da paisagem com os organismos nela presentes, considerando ainda, a capacidade de dispersão do organismo (AAVIK *et al.*, 2014; LOOY *et al.*, 2014).

A quantificação dos padrões de paisagem tem sido feita por meio da aplicação de índices e métricas. Mcgarigal & Marks (1995) desenvolveram o *software FRAGSTATS (Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps)* para a obtenção automatizada de métricas da paisagem, agrupadas em métricas de densidade, tamanho e variabilidade; métricas de borda; métricas de forma; métricas de área de núcleo; métricas do vizinho mais próximo; métricas de diversidade e métricas de contágio e intercalação. Lang & Tiede (2003) desenvolveram o *software v-LATE*, que também calcula várias métricas tradicionais da paisagem. Mais recentemente, Soille & Vogt (2009) propuseram a *Morphological Spatial Pattern Analysis - MSPA (Análise dos Padrões Espaciais Morfológicos)* para o estudo dos padrões e estrutura da paisagem.

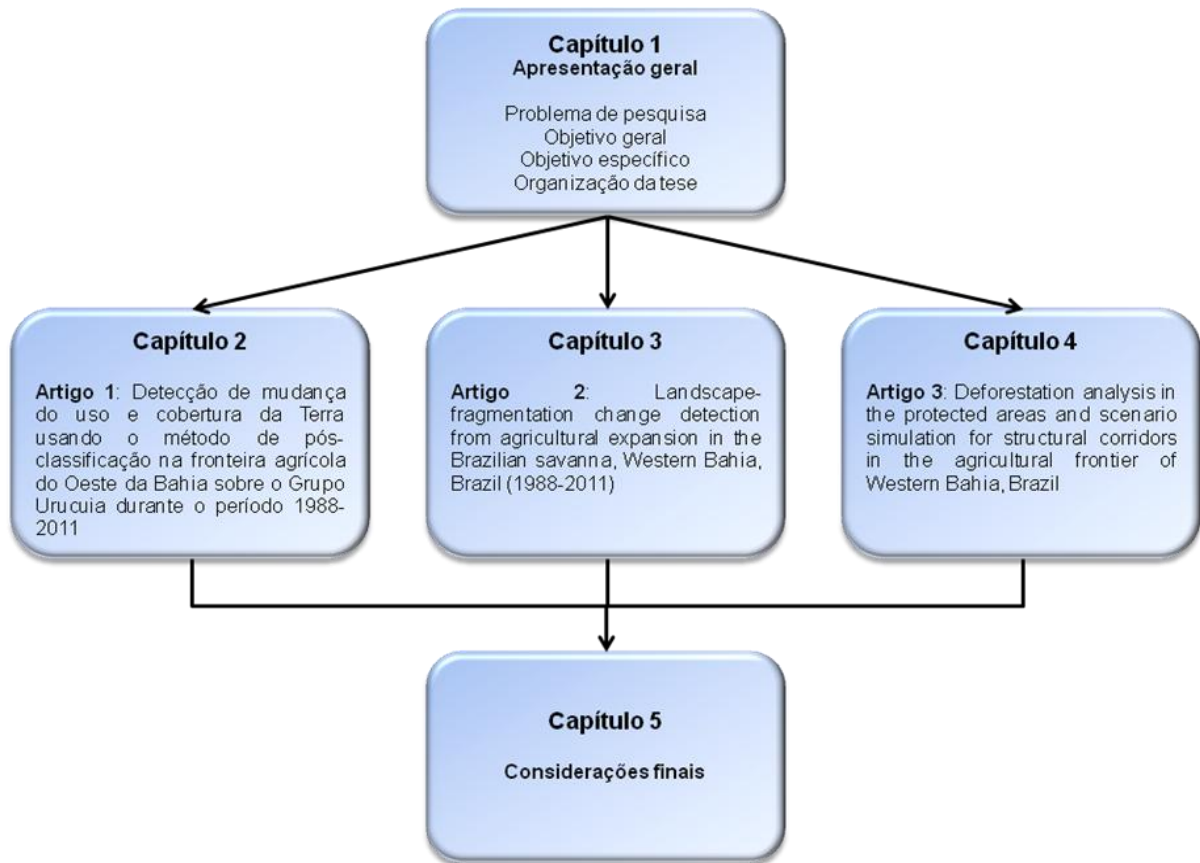
Forman (1995) propõe cinco processos espaciais de mudança da paisagem, sendo eles: perfuração, dissecação, fragmentação, encolhimento e desgaste. Jaeger (2000) modifica e amplia os padrões de modificação da paisagem propostos de Forman (1995), passando a considerar as classes perfuração, incisão, dissecação, dissipação, encolhimento e atrito. Essas classes corresponderam a diferentes padrões espaciais na paisagem e geralmente ocorrem de forma concomitante. Para McIntyre & Hobbs (1999) as mudanças da paisagem podem ser classificadas em quatro grandes classes ou padrões de alterações, sendo elas: intacto (mais de 90% da cobertura remanescente preservada), variado (de 60% a 90% da cobertura remanescente preservada), fragmentado (de 10% a 60% da cobertura remanescente preservada), e relictual (até 10% da cobertura remanescente preservada).

Nos capítulos seguintes, em cada artigo, detalhamos e aprofundamos os procedimentos analíticos utilizados para caracterizar as mudanças nos padrões de paisagem. No tópico seguinte, apresentamos a organização da tese e uma síntese dos principais procedimentos adotados.

### **1.3 - ORGANIZAÇÃO DA TESE**

Esta tese foi redigida na forma de artigos científicos (PPGGEA, 2013) e organizada na forma de 5 (cinco) capítulos (**Figura 1.1**). Neste capítulo (**Capítulo 1**), apresentamos o

problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, e apresentamos o conceito de paisagem na perspectiva da Ecologia de Paisagem.



**Fig. 1.1** - Fluxograma da tese.

No **Capítulo 2**, artigo submetido e publicado na Revista Brasileira de Cartografia (**anexo 1**), sistematizamos e complementamos o banco de dados vetorial multitemporal do uso e cobertura da Terra pela interpretação visual de imagens TM/Landsat dos anos de 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008 e 2011; realizamos a detecção de mudança do uso e cobertura da Terra pelo método de pós-classificação; sistematizamos as principais políticas públicas que influenciaram na ocupação do Oeste da Bahia e sistematizamos os dados oficiais do IBGE sobre a produção agrícola da região.

No **Capítulo 3**, artigo submetido a Revista internacional *Regional Environmental Change*, analisamos as mudanças na fragmentação da paisagem durante o período de 1988 a 2011 por meio da aplicação de métricas tradicionais da paisagem e por meio da análise morfológica (Morphological Spatial Pattern Analysis - MSPA) dos remanescentes de vegetação natural de Cerrado.

No **Capítulo 4**, artigo a ser submetido na revista internacional *Land Use Policy*, obtivemos a representatividade das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e das Unidades de Conservação (UCs) existentes na área de estudo; quantificamos a área de APP com uso ilegal da Terra a partir de mapeamento de detalhe obtido por interpretação visual de imagens PRISM/ALOS elaborado pelo Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais da Universidade de Brasília em parceria com o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura e o Ministério da Integração Nacional; realizamos a avaliação multitemporal do desmatamento (1988 a 2011) dentro das Unidades de Conservação existentes na área de estudo; e aplicamos a análise morfológica (Morphological Spatial Pattern Analysis) em quatro simulações de cenários para avaliar o potencial das APPs como corredores estruturais.

Por fim, no **Capítulo 5**, apresentamos as considerações e conclusões gerais sobre os resultados obtidos na tese.

#### **1.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AAVIK, T.; HOLDEREGGER, R.; BOLLIGER, J. The structural and functional connectivity of the grassland plant *Lychnis flos-cuculi*. **Heredity**, v. 112, p. 471-478, 2014.

ARENDT, R. Linked landscapes: Creating greenway corridors through conservation subdivision design strategies in the northeastern and central United States. **Landscape and Urban Planning**, v. 68, p. 241–269, 2004.

BALDI, G.; GUERSCHMAN, J. P.; PARUELO, J. M. Characterizing fragmentation in temperate South America grasslands. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 116, p. 197-208, 2006.

BATISTELLA, M.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E. E.; VIEIRA, H. R.; VALLADARES, G. S.; MANGABEIRA, J. A. C.; ASSIS, M. C. **Monitoramento da Expansão Agropecuária do Oeste da Bahia**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002. 40p. (Documentos, 20).

BRANDÃO, P. R. B. A formação territorial do Oeste Baiano: a constituição do “Além São Francisco” (1827-1985). **GeoTextos**, v. 6, p. 45-56, 2010.

BRANNSTROM, C. Environmental policy reform on north-eastern Brazil's agricultural frontier. **Geoforum**, v. 36, p. 257-71, 2005.

BRANNSTROM, C.; BRANDÃO, P. R. B. Two hundred hectares of good business: Brazilian agriculture in a themed space. **Geographical Review**, v. 102, p. 465-485, 2012.

BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A. M.; REDO, D.; XU, Z.; GANESH, S. Land change in the Brazilian savanna (Cerrado), 1986–2002: comparative analysis and land-use policy implications. **Land Use Policy**, v. 25, p. 579-595, 2008.

BUREL, F.; BAUDRY, J. Landscape ecology: concepts, methods, and applications. Enfield: Science Publishers, 2004, 362 p.

CABACINHA, C. D.; CASTRO, S. S. Relationships between floristic diversity and vegetation indices, forest structure and landscape metrics of fragments in Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 2157-2165, 2009.

CARVALHO, F. M. V.; MARCO JÚNIOR, P.; FERREIRA, L. G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1392-1403, 2009.

CASTRO, A. S.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S. Análise da dinâmica da paisagem no município de Formosa do Rio Preto (BA). **Espaço e Geografia**, v. 16, p. 307-323, 2013.

CHETKIEWICZ, C. L. B.; CLAIR, C. C. S.; BOYCE, M. S. Corridors for conservation: integrating pattern and process. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 37, p. 317-342, 2006.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 302**. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30202.html>. Acesso em 25 de fevereiro de 2014.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 303**. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>. Acesso em 25 de fevereiro de 2014.

ECHEVERRÍA, C.; NEWTON, A.; NAHUELHUAL, L.; COOMES, D.; REY-BENAYAS, J. M. How landscapes change: integration of spatial patterns and human processes in temperate landscapes of southern Chile. **Applied Geography**, v. 32, p. 822-831, 2012.

- FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. London: Chapman & Hall, 1998. 235p.
- FERREIRA, L. G.; FERNANDEZ, L. E.; SANO, E. E.; FIELD, C.; SOUSA, S. B.; ARANTES, A. E.; ARAÚJO, F. M. Biophysical properties of cultivated pastures in the Brazilian Savanna Biome: An analysis in the spatial-temporal domains based on ground and satellite data. **Remote Sensing**, v. 5, p. 307-326, 2013.
- FLORES, P. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T. Análise multitemporal da expansão agrícola no município de Barreiras - Bahia (1988 - 2008). **Campo - Território**, v. 7, p. 1-19, 2012.
- FORMAN, R. T. T. **Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions**. Cambridge: University Press, 1995. 632p.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: Wiley & Sons Ed., 1986. 619p.
- GERI, F.; AMICI, V.; ROCCHINI, D. Human activity impact on the heterogeneity of a Mediterranean landscape. **Applied Geography**, v. 30, p. 370-379, 2010.
- GRECCHI, R. C.; GWYN, Q. H. J.; BÉNIÉ, G. B.; FORMAGGIO, A. R.; FAHL, F. C. Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: A multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. **Applied Geography**, v. 55, p. 300-312, 2014.
- GUIMARÃES, B. P. **Análise da Multitemporal do Uso e Ocupação do Solo no Município de Baianópolis (BA)**. 2012. 47f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- GURGEL, R. S. **Análise ambiental do uso da terra e dos processos erosivos do município de Riachão das Neves (BA)**. 2011. 100f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- GURGEL, R. S.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; GUIMARAES, R. F.; MARTINS, E. S. Relação entre a evolução do uso da terra com as unidades geomorfológicas no município de Riachão das Neves (BA). **GeoTextos**, v. 9, p. 177-201, 2013.
- GUSTAFSON, E. J. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? **Ecosystems**, v. 1, p. 143-156, 1998.
- HAESBAERT, R. **Gaúchos e Baianos: Modernidade e Desterritorialização**. 1995. 385f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.



HESSEL, F. O.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. Dinâmica e sucessão dos padrões da paisagem agrícola no município de Cocos (Bahia). **RA'E GA**, v. 26, p. 128-156, 2012.

JAEGER, J. A. G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. **Landscape Ecology**, v.15, p. 115-130, 2000.

JASINSKI, E.; MORTON, D.; DEFRIES, R.; SHIMABUKURO, Y.; ANDERSON, L.; HANSEN, M. Physical landscape correlates of the expansion of mechanized agriculture in Mato Grosso, Brazil. **Earth Interactions**, v. 9, p. 1-18, 2005.

KANG, S.; CHOI, W. Forest cover changes in North Korea since the 1980s. **Regional Environmental Change**, v. 14, p. 347-354, 2014.

KANG, S.; KIM, J. O. Morphological analysis of green infrastructure in the Seoul metropolitan area, South Korea. **Landscape and Ecological Engineering**, v. 11, p. 259-268, 2015.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, p. 707-713, 2005.

LI, M.; ZHU, Z.; VOGELMANN; J. E.; XU, D.; WEN, W.; LIU, A. Characterizing fragmentation of the collective forests in southern China from multitemporal Landsat imagery: a case study from Kecheng district of Zhejiang province. **Applied Geography**, v.31, p. 1026-1035, 2011.

LINDENMAYER, D. B.; FISCHER, J. **Habitat fragmentation and landscape change: an ecological and conservation synthesis**. Washington D.C.: Island Press, 2006. 328p.

LIU, S.; DONG, Y.; DENG, L.; LIU, Q.; ZHAO, H.; DONG, S. Forest fragmentation and landscape connectivity change associated with road network extension and city expansion: A case study in the Lancang River Valley. **Ecological Indicators**, v. 36, p. 160-168, 2014.

LLAUSÀS, A.; NOGUÉ, J. Indicators of landscape fragmentation: The case for combining ecological indices and the perceptive approach. **Ecological Indicators**, v. 15, p. 85-91, 2012.

LOOY, K. V.; PIFFADY, J.; CAVILLON, C.; TORMOS, T.; LANDRY, P.; SOUCHON, Y. Integrated modelling of functional and structural connectivity of river corridors for European otter recovery. **Ecological Modelling**, v. 273, p. 228-235, 2014.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de**

**perda da área do Cerrado brasileiro.** Relatório técnico não publicado. Brasília: Conservação Internacional, 2004. 23p.

MANTOVANI, J. E.; PEREIRA, A. Estimativa da integridade da cobertura vegetal de cerrado através de dados TM/Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. p. 11-18.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174p.

MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. **Ecologia de Paisagem: conceitos e aplicações.** Planaltina (DF): Embrapa Cerrados, 2004. 35p. (Documentos, 121).

MCGARIGAL, K; MARKS, B. J. **FRAGSTATS:** spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 122p.

MCINTYRE, S.; HOBBS, R. J. A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models. **Conservation Biology**, v. 13, p. 1282-1292, 1999.

MENDONÇA, J. O. O potencial de crescimento da produção de grãos no Oeste da Bahia. **Bahia Agrícola**, v. 7, p. 38-46, 2006.

MENKE, A. B.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, S. N. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luis Eduardo Magalhães (BA - Brasil). **Sociedade & natureza**, v. 21, p. 315-326, 2009.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, V. 1, P. 1-9, 2001.

MMA-IBAMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Monitoramento do Bioma Cerrado: 2009-2010. Brasília: MMA-IBAMA, 2011.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A. **Landscape ecology: Theory and application.** New York: Springer-verlag, 1993. 360p.

PINHEIRO, L. C. S. J. **Análise Multitemporal da Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra no Município de Correntina - BA**. 2012. 66f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

PLIENINGER, T. Monitoring directions and rates of change in trees outside forests through multitemporal analysis of map sequences. **Applied Geography**, v. 32, p. 566-576, 2012.

PPGGEA. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNB. **Norma para a elaboração gráfica das dissertações e teses**. Resolução nº 1 de 23 de setembro de 2013. Brasília, 2013. 30p. Disponível em: <http://www.posgea.unb.br/formularios/Normas%20dissertacoes%20e%20teses%20do%20PPGGEA.pdf>. Acesso em 25 de outubro de 2014.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, p. 223-230, 1997.

RIITERS, K. H.; O'NEILL, R. V.; WICKHAM, J. D.; JONES, K. B. A note on contagion indices for landscape analysis. **Landscape Ecology**, v. 11, p. 197-202, 1996.

SANO, E. E.; SANTOS, C. C. M.; SILVA, E. M.; CHAVES, J. M. Fronteira agrícola do Oeste Baiano: considerações sobre os aspectos temporais e ambientais. **Geociências**, v. 30, p. 479-489, 2011.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113-124, 2010.

SANTANA, J. M. A. **O Estado e a organização espacial do Oeste Baiano**. 2008. 114f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

SANTANA, L. C.; GURGEL, R. S.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Análise dos fragmentos florestais na bacia do Rio Grande (BA), utilizando imagens ALOS e modelagem matemática, como forma de subsidiar o planejamento da área. **Espaço e Geografia**, v. 12, p. 223-242, 2009.

SAURA, S.; VOGT, P.; VELAZQUEZ, J.; HERNANDO, A.; TEJERA, R. Key structural forest connectors can be identified by combining landscape spatial pattern and network analyses. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 150-160, 2011.

SHRESTHA, M. K.; YORK, A. M.; BOONE, C. G.; ZHANG, S. Land fragmentation due to rapid urbanization in the Phoenix Metropolitan Area: Analyzing the spatiotemporal patterns and drivers. **Applied Geography**, v. 32, p. 522-531, 2012.

- SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a Tropical Savanna Hotspot. **BioScience**, v. 52, p. 225-234, 2002.
- SÍMOVÁ, P.; GDULOVÁ, K. Landscape indices behavior: A review of scale effects. **Applied Geography**, v. 34, p. 385-394, 2012.
- SOARES FILHO, B. S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. 1998. 299p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- SOILLE, P.; VOGT, P. Morphological segmentation of binary patterns. **Pattern Recognition Letters**, v. 30, p. 456-459, 2009.
- SPAGNOLO, T. F. O.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. S.; COUTO JÚNIOR, A. F. Dinâmica da expansão agrícola do município de São Desidério-BA entre os anos de 1984 a 2008, importante produtor nacional de soja, algodão e milho. **Geo UERJ**, v. 2, p. 603-618, 2012.
- SPAROVEK, G.; BERNDES, G.; KLUG, I. L. F.; BARRETTO, A. G. O. P. Brazilian Agriculture and Environmental Legislation: Status and Future Challenges. **Environmental Science & Technology**, v. 44, p. 6046-6053, 2010.
- SU, S.; XIAO, R.; ZHANG, Y. Multi-scale analysis of spatially varying relationships between agricultural landscape patterns and urbanization using geographically weighted regression. **Applied Geography**, v. 32, p. 360-375, 2012.
- SUN, J.; HUANG, Z.; Zhen, Q.; SOUTHWORTH, J.; PERZ, S. Fractally deforested landscape: Pattern and process in a tri-national Amazon frontier. **Applied Geography**, v. 52, p. 204-211, 2014.
- TANG, J.; BU, K.; YANG, J.; ZHANG, S.; CHANG, L. Multitemporal analysis of forest fragmentation in the upstream region of the Nenjiang River Basin, Northeast China. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 597-607, 2012.
- THEOBALD, D. M.; CROOKS, K. R.; NORMAN, J. B. Assessing effects of land use on landscape connectivity: loss and fragmentation of western U.S. forests. **Ecological Applications**, v. 21, p. 2445-2458, 2011.
- TURNER, M. G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 20, p. 171-197, 1989.
- TURNER, M. G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. **Landscape Ecology**, v. 4, p. 21-30, 1990.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H.; O'NEILL, R. V. **Landscape ecology in theory and practice**. New York: Springer-Verlag, 2001. 406p.

UUEMAA, E.; MANDER, Ü.; MARJA, R. Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: A review. **Ecological Indicators**, v.28, p. 100-106, 2013.

VOGT, P.; FERRARI, J. R.; LOOKINGBILL, T. R.; GARDNER, R. H.; RIITERS, K. H.; OSTAPOWICZ, K. Mapping functional connectivity. **Ecological Indicators**, v. 9, p. 64-71, 2009.

VOGT, P.; RIITERS, K. H.; IWANOWSKI, M.; ESTREGUIL, C.; KOZAK, J.; SOILLE, P. Mapping landscape corridors. **Ecological Indicators**, v. 7, p. 481–488, 2007a.

VOGT, P.; RIITERS, K. H.; ESTREGUIL, C.; KOZAK, J.; WADE, T. G.; WICKHAM, J. D. Mapping Spatial Patterns with Morphological Image Processing. **Landscape Ecology**, v. 22, p. 171-177, 2007b.

WALZ, U. Indicators to monitor the structural diversity of landscapes. **Ecological Modelling**, v. 295, p. 88-106, 2015.

WITH, K. A. The Application of Neutral Landscape Models in Conservation Biology. **Conservation Biology**, v. 11, p. 1069-1080, 1997.

ZONNEVELD, I. S. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. **Landscape Ecology**, v. 3, p. 67-86, 1989.

## **CAPÍTULO 2 - DETECÇÃO DE MUDANÇA DO USO E COBERTURA DA TERRA USANDO O MÉTODO DE PÓS-CLASSIFICAÇÃO NA FRONTEIRA AGRÍCOLA DO OESTE DA BAHIA SOBRE O GRUPO URUCUIA DURANTE O PERÍODO 1988-2011**

### **RESUMO**

Este artigo tem como objetivo detectar as mudanças da cobertura e uso da Terra ao longo do período 1988-2011, utilizando imagens de sensoriamento remoto para o Oeste da Bahia (Brasil Central). A área de estudo é restrita aos solos sobre o Grupo Urucuaia (Cretáceo Superior), que é composta por arenitos continentais relacionados a ambiente desértico. Esta formação geológica gera áreas planas com predominância de Latossolos, caracterizado por textura média, excessivamente drenados e adequado para o desenvolvimento da agricultura intensiva e mecanizada. Portanto, esta área apresenta um dos maiores índices de crescimento da agricultura no bioma Cerrado. A detecção de mudança foi realizada pelo método de pós-classificação a partir de dados multitemporais do sensor TM-Landsat. A classificação de imagens através da interpretação visual identificaram seis classes de uso e cobertura da Terra: agropecuária, áreas urbanas, corpos d'água, reflorestamento, vegetação alterada e vegetação natural. A detecção de mudança foi feita a partir da tabulação cruzada entre as imagens bi-temporais. Durante o período, as principais alterações ocorreram nas classes de vegetação natural (decréscimo de 26,57%) e agropecuária (aumento de 27,13%). O avanço da agropecuária ocorreu principalmente em áreas de vegetação nativa.

**Palavras chave:** Análise Multitemporal, Detecção de mudança, Pós-Classificação, Uso da Terra, Cobertura da Terra, Oeste da Bahia.

*LAND-USE AND LAND-COVER CHANGE DETECTION USING POST-CLASSIFICATION METHOD IN THE AGRICULTURAL FRONTIER OF WESTERN BAHIA OVER THE URUCUIA GROUP DURING THE PERIOD 1988-2011*

## ABSTRACT

This paper aims to detect land-cover and land-use changes over the period 1988-2011, using remote sensing imagery for Western Bahia (Central Brazil). The study area is restricted to soils over the Urucuia Group (Late Cretaceous), which is composed by continental sandstones related to desert environment. This geological formation generates flat areas with a predominance of Oxisols, characterized by medium texture, excessively drained and suitable for the development of intensive and mechanized agriculture. Therefore, this area has one of the highest rates of agricultural growth in the Cerrado biome. The change-detection was achieved using the post-classification method from multitemporal Landsat TM data. The image classification by visual interpretation identified six classes of land-use/ land-cover: agriculture and livestock, urban areas, water bodies, reforestation, altered vegetation and natural vegetation. The change-detection was made from the cross-tabulation between the bi-temporal images. During the period, major changes occurred in the natural vegetation classes (down 26.57%) and agriculture and livestock (increase 27.13%). The advancement of agriculture and livestock was mainly on areas of native vegetation.

**Keywords:** Multitemporal Analysis, Change-detection, post-classification, land-use, land-cover, Western Bahia.

## 2.1 - INTRODUÇÃO

As inovações tecnológicas e organizacionais na agricultura brasileira a partir da década de 1970 têm gerado modificações no bioma Cerrado (ABELSON & ROWE, 1987; NEPSTAD *et al.*, 1997; SANTANA, 2008). Estima-se que em 2002 cerca de 40% da área natural do Cerrado já havia sido convertida em outros tipos de uso da terra (SANO *et al.*, 2010). A importância do Cerrado está no fato de possuir a mais rica flora dentre as savanas do mundo, com alto nível de endemismo (RATTER *et al.*, 1997; SILVA & BATES, 2002), por ser uma área produtora de grãos (BRANNSTROM, 2005; JASINSKI *et al.*, 2005) e de formação de pastagens (FERREIRA *et al.*, 2013).

A região do Oeste da Bahia é atualmente uma das principais fronteiras agrícolas no bioma Cerrado (MMA, 2011), com a conversão de áreas de vegetação natural em cultivos agrícolas (BATISTELLA *et al.*, 2002; BRANNSTROM *et al.*, 2008; CASTRO *et al.*, 2013; FLORES *et al.*, 2012; GURGEL *et al.*, 2013; MENKE *et al.*, 2009; PINHEIRO, 2012; SANO *et al.*, 2011; SPAGNOLO *et al.*, 2012). Nesta região o maior avanço da agricultura ocorre

sobre as rochas do Grupo Urucuia. Conforme Campos & Dardenne (1997a, b) o Grupo Urucuia é subdividido nas Formações Posse e Serra das Araras. A sucessão e associação faciológica sugere um ambiente de formação desértico controlado por um sistema eólico com campos de dunas que se modifica para um sistema fluvial-eólico representado por lençóis arenosos (SPIGOLON & ALVARENGA, 2002). Esta formação geológica abriga o Sistema Aquífero Urucuia (SAU) que no período de recessão das chuvas é responsável pela regulação das vazões dos afluentes da margem esquerda do médio rio São Francisco e pela alimentação de nascentes de tributários da margem direita do rio Tocantins, na borda ocidental da Serra Geral de Goiás (GASPAR & CAMPOS, 2007). Sobre as rochas do Grupo Urucuia forma-se um terreno plano e solos com predomínio de Latossolos com textura média e boas condições de drenagem, sendo um ambiente propício para a implantação de agricultura mecanizada voltada para produtos agrícolas de exportação.

Neste contexto, o monitoramento da dinâmica da expansão agrícola é um fator fundamental para avaliar as mudanças ambientais e socioeconômicas da região. A detecção de mudança permite quantificar as alterações do uso e cobertura da Terra, utilizando um conjunto de dados multitemporais (SINGH, 1989). As imagens de satélite são adequadas para a quantificação das mudanças, uma vez que fornecem medidas consistentes e repetíveis em escala regional (KENNEDY *et al.*, 2007; QIN *et al.*, 2006).

O processamento de imagens multitemporais para a detecção de mudança pode ser subdividido em dois tipos (LAMBIN, 1999; SILVA *et al.*, 2012): (a) modelo discreto, baseado em imagens bi-temporais, onde cada unidade espacial é representada por um único valor categórico e que é estável ao longo de um período de tempo; e (b) modelo contínuo, onde são empregadas séries temporais densas para descrever a trajetória da superfície e da dinâmica espacial.

Neste trabalho, a análise de mudança será realizada com base no processamento de imagens bi-temporais discretas. Uma vantagem do modelo discreto é que ele permite uma descrição simples e rápida da dinâmica espacial (SILVA *et al.*, 2012). O processamento digital de imagens bi-temporais pode ser subdividido em dois tipos: pré-classificação e pós-classificação (JENSEN *et al.*, 1993; YUAN *et al.*, 2005).

Os métodos de pré-classificação realizam inicialmente um realce digital das áreas onde ocorreram mudanças, considerando os dois tempos, e depois sobre este resultado realiza-se a classificação. Diferentes procedimentos de pré-classificação foram propostos, tais como: simples operações algébricas como divisão e razão de bandas temporais (HUDAK & WESSMAN, 2000; ELMORE *et al.*, 2000); análise de vetor de mudança (BOVOLO &



BRUZZONE, 2007; CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2011), mistura espectral (ADAMS *et al.*, 1995; ELMORE *et al.*, 2000; TURAZI *et al.*, 2009), método de regressão (HEALEY *et al.*, 2006), análise de principais componentes (FUNG & LEDREW, 1987; DENG *et al.*, 2008), dentre outros.

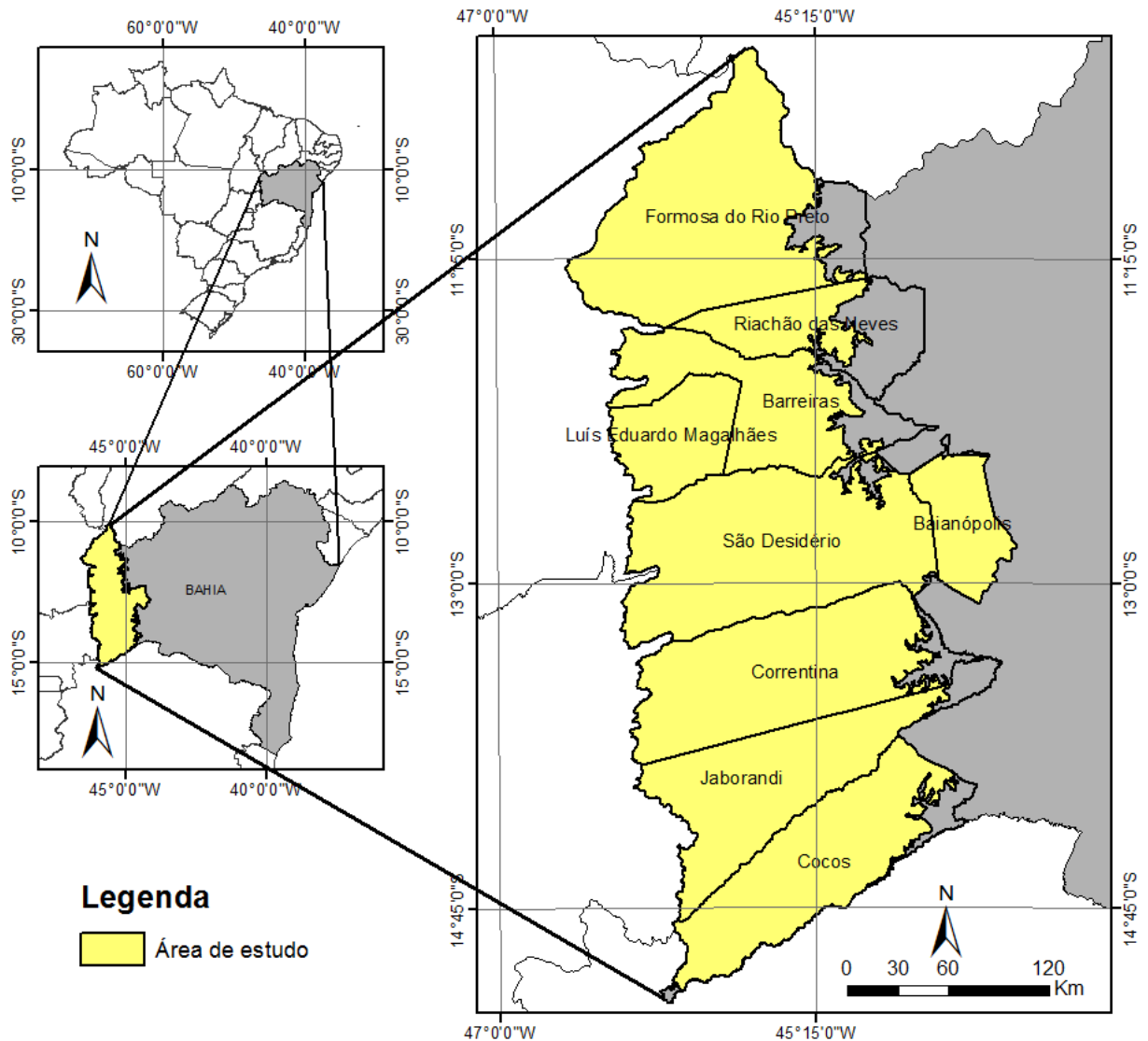
O processamento de detecção de mudança pelo procedimento de pós-classificação realiza, inicialmente, a classificação individual de cada imagem temporal e depois efetua uma comparação das imagens por tabulação cruzada, com o propósito de identificar as áreas com mudança (HOWARTH & WICKWARE, 1981; MAS, 1999). Diferentes métodos de classificação são utilizados na detecção de mudança por pós-classificação, como a interpretação visual (LOVELAND *et al.*, 2002), classificadores supervisionados (FERREIRA *et al.*, 2010; LIU & ZHOU, 2004) ou não supervisionados (SILVA *et al.*, 2012). O método de pós-classificação possui como vantagem a menor influência dos efeitos atmosféricos e radiométricos (LU *et al.*, 2003). O grau de sucesso desta técnica depende da precisão do registro das imagens (SINGH, 1989) e da confiabilidade da classificação (FULLER *et al.*, 2003). A técnica de pós-classificação tem sido utilizada na detecção de mudanças em zonas úmidas (SOLIMAN & SOUSSA, 2011), áreas de expansão agrícola (FLORES *et al.*, 2012; SPAGNOLO *et al.*, 2012), áreas urbanas (RAFIEE *et al.*, 2009; VAN DE VOORDE *et al.*, 2007), desmatamento (LIU *et al.*, 2008), padrões de paisagem (HESSEL *et al.*, 2012; HUZUI, *et al.*, 2012); qualidade da água (HUIPING *et al.*, 2011), e no monitoramento do uso e cobertura da Terra (FULLER *et al.*, 2003). As técnicas de pós-classificação exigem menos conhecimento de processamento digital de imagens, lidando com conceitos mais próximos do usuário.

O presente trabalho possui como objetivo detectar as mudanças espaciais do uso e cobertura da Terra pelo método de pós-classificação nas regiões sobre a formação geológica do Grupo Urucuia, nos municípios do Oeste da Bahia, entre o período de 1988 a 2011. A área de estudo possui aproximadamente 7.559.783,69 hectares e inclui os municípios de Formosa do Rio Preto, Riachão das Neves, Barreiras, Luís Eduardo Magalhães, São Desidério, Baianópolis, Correntina, Jaborandi e Cocos (**Figura 2.1**).

## **2.2 - MATERIAIS E MÉTODOS**

Primeiramente apresentamos as imagens de satélite utilizadas neste trabalho, em seguida, os procedimentos utilizados na detecção das mudanças pelo método de pós-

classificação, e por fim, detalhamos os procedimentos aplicados na quantificação das mudanças da paisagem na área estudada.



**Fig. 2.1** - Mapa de localização da área de estudo.

### 2.2.1 - Imagens utilizadas

No presente trabalho foram utilizadas imagens de dois sensores: (a) imagens de alta resolução espacial do sensor PRISM/ALOS; e (b) imagens do sensor TM/Landsat 5. As imagens do sensor PRISM/ALOS foram utilizadas na confecção do mapa base de alta resolução espacial da área de estudo, enquanto que as imagens do sensor TM/Landsat 5 foram utilizadas para avaliar as mudanças temporais. As imagens utilizadas e os procedimentos realizados neste trabalho são detalhados nos tópicos seguintes.

### 2.2.1.1 - Imagens PRISM/ALOS

O sensor PRISM (*Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping*) está a bordo do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) desenvolvido pela JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) (IGARASHI, 2001). Lançado em 24 de janeiro de 2006 possui órbita circular heliossíncrona, altitude de 691,65 km e resolução temporal de 46 dias (SAUNIER *et al.*, 2010).

As imagens pancromáticas utilizadas na elaboração do mosaico base da área de estudo são de 8 bits e referentes ao produto 1B2 do sensor PRISM do período de 2007 a 2010, que são submetidas à calibração radiométrica e geométrica conforme a grade da projeção UTM. A utilização de imagens de anos diferentes para a confecção do mosaico se deu pelo fato de não ter imagens PRISM/ALOS do mesmo ano para toda a área de estudo. A largura da faixa de imageamento é de 35 km no modo de observação estéreo e de 70 km em observação nadir, com resolução espacial de 2,5 m (JAXA, 2006). Estas imagens foram obtidas por meio do Projeto "Geoprocessamento e Cadastramento de Propriedades do Oeste Baiano" desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE) da Universidade de Brasília (UnB) em parceria com o Instituto Interamericano de Comércio e Agricultura (IICA) e o Ministério da Integração Nacional.

### 2.2.1.2 - Imagens TM/Landsat 5

O programa Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) foi desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) no início dos anos 70. O satélite Landsat 5, um dos oito do programa, foi lançado em 1984 e funcionou até o ano de 2013. O Landsat 5 possuía órbita polar circular heliossíncrona, altitude de 705 km, resolução temporal de 16 dias, largura da faixa de imageamento de 185 km e os sensores TM (*Thematic Mapper*) e MSS (*Multispectral Scanner System*) (NASA, 2014).

Neste trabalho foram utilizadas as imagens TM/Landsat 5 relativas às seis bandas da faixa do visível e infravermelho com resolução espacial de 30 metros dos anos de 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008 e 2011. Estas imagens foram adquiridas gratuitamente pelo site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo link: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>>. Na seleção das imagens foram adotados os seguintes critérios: a) preferência por imagens da estação seca; b) disponibilidade no banco de dados; e c) quantidade de nuvens inferior a 10%. As órbitas/pontos e datas das imagens utilizadas estão listadas na **Tabela 2.1**.

**Tabela 2.1** - Órbita/ponto das imagens TM do Landsat 5 utilizadas.

Ano	Órbitas	Pontos	Data
1988	219	69/70	27 de agosto
	220	67/68/69/70	02 de agosto
	220	68/69/70	03 de setembro
	221	67/68	09 de agosto
1992	219	69/70	22 de agosto
	220	67	28 de julho
	220	68/69/70	13 de agosto
	220	68/69/70	14 de setembro
	221	67/68	03 de julho
1996	219	69	16 de julho
	219	69/70	29 de maio
	220	67/68	7 de julho
	220	68/69/70	21 de junho
	221	67	28 de junho
	221	68	14 de julho
2000	219	69/70	12 de agosto
	220	67/68	19 de agosto
	220	69	18 de julho
	220	68/69/70	16 de junho
	221	67/68	09 de julho
2004	219	69/70	23 de agosto
	220	67/68	01 de agosto
	220	68/69/70	27 de junho
	221	67/68	07 de julho
2008	219	69	02 de agosto
	219	70	03 de setembro
	220	67/68	24 de julho
	220	69/70	08 de julho
	220	70	10 de setembro
	221	67/68	16 de agosto
2011	219	69/70	10 de julho
	220	67/68	03 de setembro
	220	68/69/70	17 de julho
	221	67/68	08 de julho

### **2.2.2 - Detecção de mudança pelo método de pós-classificação**

A detecção de mudança foi realizada a partir de três etapas: a) classificação das imagens PRISM/ALOS; b) classificação das imagens TM/Landsat 5; e c) detecção e quantificação das mudanças. As etapas serão detalhadas nos tópicos a seguir.

#### **2.2.2.1 - Classificação das imagens PRISM/ALOS**

A classificação das imagens PRISM/ALOS dos anos de 2007 a 2010 foi realizada por meio de interpretação visual em tela e pela vetorização manual das classes no programa ArcGIS 9.3. O mapeamento foi realizado pelo Laboratório de Sistemas de Informações

Espaciais (LSIE) da Universidade de Brasília (UnB) por meio do Projeto "Geoprocessamento e Cadastramento de Propriedades do Oeste Baiano" desenvolvido em parceria com o Instituto Interamericano de Comércio e Agricultura (IICA) e o Ministério da Integração Nacional.

Nesta etapa, outras imagens foram utilizadas para auxiliar na interpretação provenientes dos sensores TM/Landsat 5, CCD/CBERS 2 (*Couple Charged Device/China-Brazil Earth Resources Satellite*) e imagens de alta resolução espacial do *Google Earth*. O emprego de outras imagens permitiu a solução de diferentes problemas, tais como, presença de nuvens, distinção de padrões de uso da Terra e avaliação de diferenças entre imagens de datas distintas. Durante o período de mapeamento, também, foi realizado trabalho de campo para validação das classes e para a coleta de amostras de solo. A interpretação das imagens do sensor PRISM/ALOS permitiu a identificação e mapeamento de 26 classes de uso e cobertura da Terra (**Tabela 2.2**).

**Tabela 2.2** - Classes de uso e cobertura da Terra obtidas a partir das imagens PRISM/ALOS.

<b>Classes de uso e cobertura da Terra</b>	
Agricultura	Pequena Propriedade
Área Urbana	Piscicultura
Barreira de Vegetação	Pista de Pouso
Canal	Pivô Central
Captação de água	Planta Industrial
Carvoaria	Problema Ambiental
Cultura Permanente	Reflorestamento
Granja	Reservatório
Lagoa Cárstica	Sede de Propriedade
Loteamento	Uso Indefinido
Massa d'água	Vegetação Alterada
Mineração	Vegetação Natural
Pecuária	Vila/Povoado

Entretanto, para viabilizar a retroanálise ao longo do tempo das imagens TM/Landsat 5 (com menor resolução espacial) foi realizada uma simplificação do mapeamento para 6 classes de uso e cobertura da Terra (**Tabela 2.3**). A simplificação das classes do mapeamento das imagens PRISM/ALOS não resultou em prejuízos à análise, uma vez que, proporcionalmente, a maioria delas possuía áreas irrelevantes.

**Tabela 2.3** - Classes de uso e cobertura da Terra utilizadas neste trabalho.

<b>Classes de uso e cobertura da Terra</b>	
Agropecuária	Reflorestamento
Áreas urbanas	Vegetação alterada
Corpos d'água	Vegetação natural

### 2.2.2.2 - Classificação das imagens TM/Landsat 5

Diferentes mapeamentos disponíveis na área de estudo relativos aos anos de 1988, 1992, 1996, 2000, 2004 e 2008 foram utilizados na presente pesquisa:

- **1984, 1988, 1992, 1996, 2000 e 2004:** São Desidério (SPAGNOLO *et al.*, 2012).
- **1988, 1992, 1996, 2000 e 2004:** Barreiras (FLORES *et al.*, 2012); Baianópolis (GUIMARÃES, 2012).
- **1988, 1992, 1996, 2000, 2004 e 2008:** Riachão das Neves (GURGEL *et al.*, 2013); Formosa do Rio Preto (CASTRO *et al.*, 2013); e Correntina (PINHEIRO, 2012).
- **1987, 1991, 1994, 1998, 2001, 2004, 2005 e 2007:** Luís Eduardo Magalhães (MENKE *et al.*, 2009).
- **1996, 2000, 2004 e 2008:** Cocos (HESSEL *et al.*, 2012).

Os trabalhos supracitados foram elaborados a partir dos mesmos procedimentos: (a) correção geométrica das imagens TM com as imagens PRISM/ALOS para obter uma adequada sobreposição espacial; e (b) classificação por interpretação visual das classes de uso e cobertura da Terra.

Contudo, para a análise de todo o intervalo espacial e temporal proposto algumas informações ainda permanecem ausentes. Portanto, para completar o banco de dados foi realizada a classificação das imagens TM/Landsat 5, conforme os mesmos procedimentos dos trabalhos anteriores, para os seguintes locais e anos:

- toda área de estudo para o ano de 2011;
- município de Jaborandi para os anos de 1988, 1992, 1996, 2000, 2004 e 2008;
- município de Cocos para os anos de 1988 e 1992;
- municípios de Barreiras e São Desidério para o ano de 2008;
- município de Luís Eduardo Magalhães para os anos de 1988, 1992, 1996, 2000 e 2008.

Em seguida, procedemos à padronização e junção dos dados, gerando-se os mapas unificados da área de estudo para os anos de 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008 e 2011.

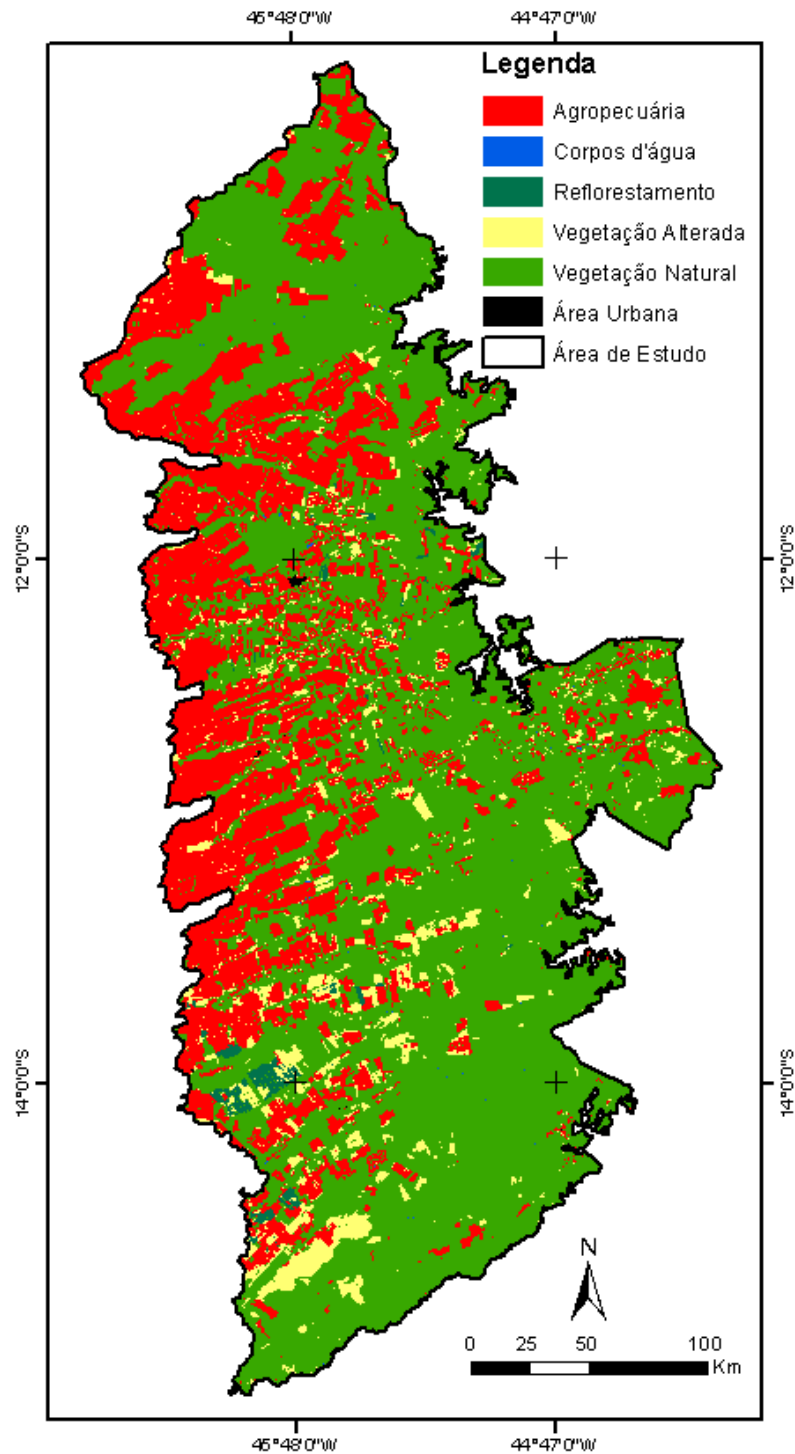
### 2.2.2.3 - Detecção e quantificação das mudanças

A detecção das mudanças foi realizada a partir da tabulação cruzada gerando uma imagem com os padrões de mudança e uma planilha com as respectivas áreas e porcentagens das áreas modificadas.

## 2.3 - RESULTADOS

### 2.3.1 - Dinâmica do uso e cobertura da Terra

O mapa de uso e cobertura da Terra do Oeste da Bahia elaborado a partir da interpretação visual do mosaico de imagens PRISM/ALOS do período de 2007-2010 é apresentado na **Figura 2.2**.



**Fig. 2.2** - Mapa de uso e cobertura da Terra da área de estudo elaborado a partir da interpretação visual do mosaico de imagens PRISM/ALOS dos anos de 2007-2010.

Observou-se que no mapeamento realizado a partir do mosaico de imagens PRISM/ALOS 65,66% da área de estudo era ocupada por vegetação natural (Cerrado), 28,09% por atividades agropecuárias, 0,72% por áreas de reflorestamento, 5,42% por vegetação alterada, 0,06% por corpos d'água e 0,04% por áreas urbanas. As áreas de agropecuária concentraram-se na porção oeste, enquanto que as áreas de vegetação natural predominam nas porções leste e sul. As áreas de reflorestamento concentram-se na porção sudoeste e as áreas de vegetação alterada estão espalhadas ao longo de toda área de estudo.

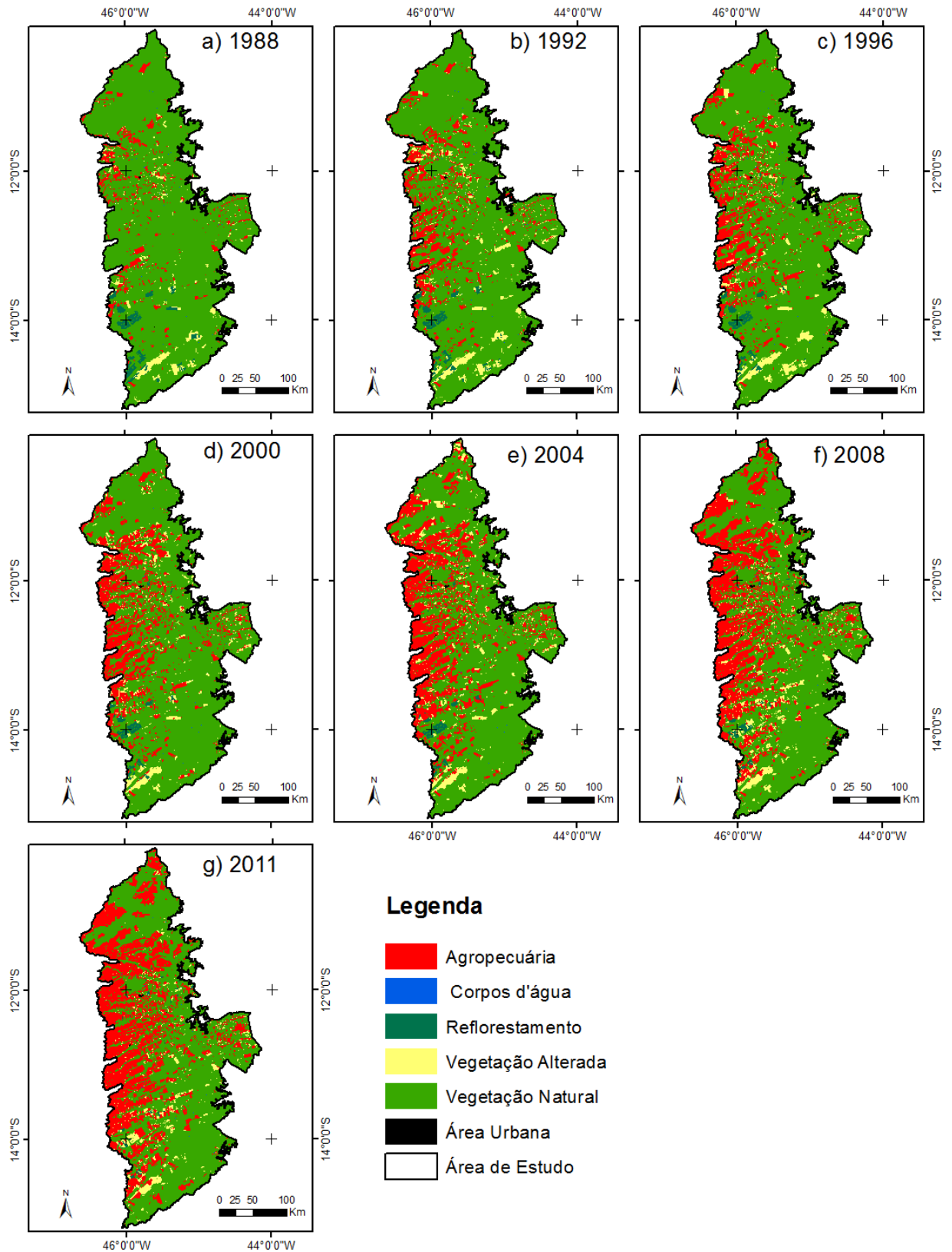
A **Figura 2.3** apresenta os mapas com a evolução temporal do uso e cobertura da Terra obtidos a partir da classificação manual das imagens TM/Landsat 5 ao longo de 23 anos (1988 a 2011). Os gráficos com as respectivas porcentagens de área de cada classe de uso e cobertura da Terra são apresentados nas **Figuras 2.4 e 2.5**.

Ao longo de todo o período em análise houve uma redução de 26,57% da área de cobertura de vegetação natural, passando de 89,41% em 1988 para 62,84% em 2011 (**Figura 2.4**). No período de 1988 a 1992 houve uma redução de 6,83% da área de vegetação natural. De 1992 a 1996, o ritmo de desmatamento diminuiu para 2,89%. De 1996 a 2000 a área desmatada aumentou para 3,58% e de 2000 a 2004 para 6,70%. No período de 2004 a 2008 houve uma redução no ritmo de desmatamento para 3,75% e de 2008 a 2011 para 2,82%. Isto representa uma taxa média de desmatamento de quase 1,16% ao ano. Cabe destacar, entretanto, que mesmo com as reduções frequentes, a região da fronteira agrícola do Oeste da Bahia ainda possui áreas significativas de vegetação natural.

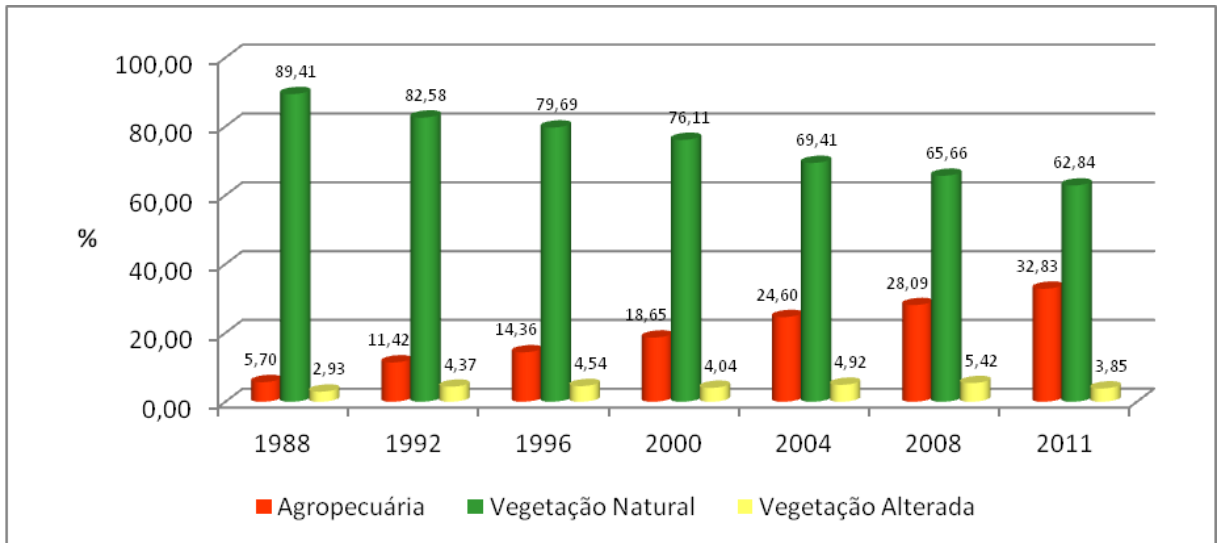
Em contraposição à classe de vegetação natural, a agropecuária teve uma elevada taxa de crescimento (**Figura 2.4**). Em 1988 representava 5,70% da área de estudo, passando para 32,83% em 2011, com um aumento de área de 27,13%. Isto representou um incremento médio anual de 1,18%. No período de 1988 a 1992 houve um aumento de 5,72% na área da classe agropecuária (**Figura 2.6**). De 1992 a 1996 o ritmo de crescimento diminuiu para 2,94%. De 1996 a 2000 a área ocupada pela agropecuária aumentou para 4,29% e de 2000 a 2004 para 5,95%. No período de 2004 a 2008 houve uma redução para 3,50% e de 2008 a 2011 um aumento de 4,74%.

A vegetação alterada apresentou comportamento irregular ao longo do período (**Figura 2.4**). Em 1988 representava 2,93% da área total, subindo para 4,37% em 1992 e 4,54% em 1996. Em 2000 diminuiu para 4,04%, voltando a subir novamente para 4,92% em 2004 e 5,42% em 2008. Em 2011 houve uma nova redução de área para 3,85%.

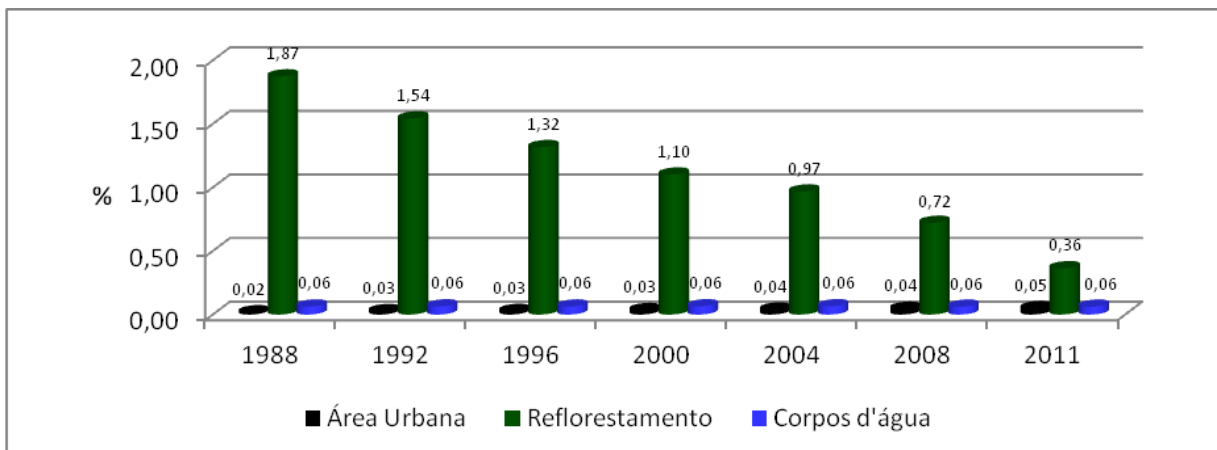




**Fig. 2.3** - Evolução temporal do uso e cobertura da Terra obtida a partir da classificação manual das imagens TM/Landsat 5 do período de 1988 a 2011.



**Fig. 2.4** - Gráfico com as porcentagens de área das classes: agropecuária, vegetação natural e vegetação alterada para a área de estudo.



**Fig. 2.5** - Gráfico com as porcentagens de área das classes: área urbana, reflorestamento e corpos d'água para a área de estudo.

No período em análise, o reflorestamento teve uma redução de 1,51% em sua área total (**Figura 2.5**). Em 1988 representava 1,87% da área de estudo, valor que foi reduzindo ao longo do tempo para 1,54% em 1992, 1,32% em 1996, 1,10% em 2000, 0,97% em 2004, 0,72% em 2008 e 0,36% em 2011.

Proporcionalmente, a classe Área Urbana teve poucas alterações ao longo dos anos (**Figura 2.5**). Em 1988, representava 0,02% da área de estudo. Em 1992 aumentou para 0,03%, valor que permaneceu o mesmo até 2000. Em 2004 aumentou para 0,04%, permanecendo no mesmo patamar até 2008. Em 2011 aumentou para 0,05%. E por fim,

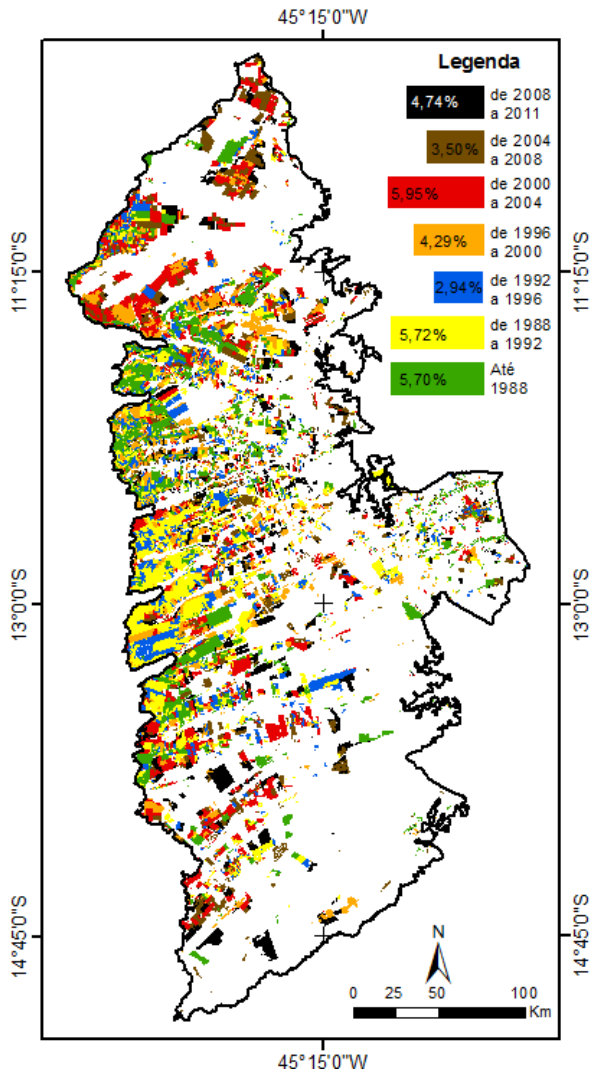
percentualmente, a classe corpos d'água não apresentou variações no período analisado (**Figura 2.5**).

### **2.3.2 - Padrões das Áreas de Mudança**

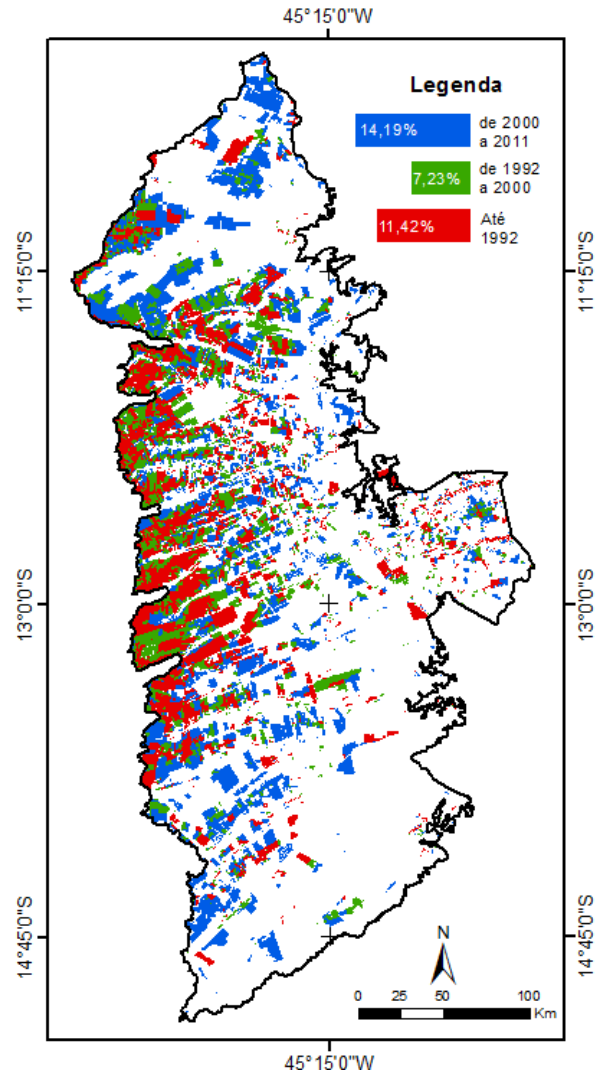
Os padrões de mudança da área de estudo estão apresentados nas **Figuras 2.6 e 2.7**. A **Figura 2.6** apresenta as mudanças ocorridas entre os períodos mapeados, enquanto a **Figura 2.7** sintetiza os intervalos de tempo a partir das datas de implantação dos principais programas para o desenvolvimento da fronteira agrícola do Oeste da Bahia. Até o ano de 1991, os principais programas de incentivo ao desenvolvimento da região estiveram voltados para a irrigação, redistribuição de terras, implantação de assentamentos rurais e estímulos financeiros, que inclui a agroindústria, indústria de insumos, máquinas, tratores e implementos agropecuários. Em 1991, a lei da política agrícola foi institucionalizada, ampliando-se as linhas de crédito e a criação dos planos de safra. Em 2000-2001, o Governo do Estado da Bahia criou os programas de apoio ao agronegócio, em especial para o algodão e o café.

Observou-se que até no ano de 1992 a agropecuária representava 11,42% da área de estudo (863.327,30 ha) e concentrava-se na porção centro-oeste. Nos períodos seguintes, houve um avanço principalmente para as porções norte e sul, numa taxa de 7,23% (546.572,36 ha) de 1992 a 2000 e de 14,19% (1.072.733,31 ha) de 2000 a 2011. Verificou-se ainda, que na porção leste há uma área considerável sem a presença de agropecuária.

Os dados quantitativos das conversões das classes de uso e cobertura da Terra nos períodos analisados são apresentados nas **Tabelas 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 e 2.9**. Com exceção das áreas urbanas e corpos d'água, todas as demais classes tiveram parte de suas áreas convertidas em outros tipos de uso e cobertura da Terra. A agropecuária teve áreas significativas convertidas em outras classes no período de 1988 a 2008, sendo que de 1992 a 1996 a conversão chegou a 10,49% (**Tabela 2.5**). Em todos os períodos analisados, a agropecuária foi convertida principalmente em vegetação alterada e vegetação natural. Por outro lado, a expansão das áreas de agropecuária ocorreu a partir das mudanças presentes nas classes de vegetação natural, vegetação alterada e reflorestamento. Portanto, o avanço da agropecuária na fronteira agrícola do Oeste da Bahia ocorreu tanto em áreas naturais de Cerrado quanto em áreas já ocupadas anteriormente.



**Fig. 2.6** - Mapa de detecção de mudança da agropecuária na área de estudo entre os períodos do mapeamento.



**Fig. 2.7** - Mapa de padrões das áreas de mudança da agropecuária na área de estudo.

A vegetação natural teve áreas significativas convertidas em outras classes durante todo o período estudado, sendo que de 2000 a 2004 a conversão chegou a 10,43% (**Tabela 2.7**). As conversões foram principalmente para as classes de agropecuária e vegetação alterada. Com exceção das áreas urbanas, todas as demais classes tiveram áreas convertidas em vegetação natural. A vegetação alterada e o reflorestamento tiveram as maiores taxas de conversão em todos os anos analisados (**Tabelas 2.4 a 2.9**). O reflorestamento foi convertido principalmente em vegetação alterada e agropecuária, enquanto que a classe de vegetação alterada foi convertida em agropecuária e vegetação natural. Os corpos d'água tiveram comportamento irregular ao longo do tempo, sendo convertidos principalmente em vegetação natural e vegetação alterada.

**Tabela 2.4** - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 1988 a 1992.

Dados em porcentagem (%)		Classes em 1988 (%)					
		Agropecuária	Áreas Urbanas	Corpos d'água	Reflorestamento	Vegetação Alterada	Vegetação Natural
Classes em 1992 (%)	Agropecuária	<b>91,04</b>	0,00	0,00	0,17	14,86	6,48
	Áreas Urbanas	0,03	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,01	0,01
	Corpos d'água	0,00	0,00	<b>99,86</b>	0,00	0,00	0,01
	Reflorestamento	0,01	0,00	0,00	<b>78,87</b>	1,62	0,02
	Vegetação Alterada	5,20	0,00	0,09	20,82	<b>67,29</b>	1,91
	Vegetação Natural	3,72	0,00	0,05	0,14	16,23	<b>91,57</b>
Total da classe		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mudanças na Classe		8,97	0,00	0,14	21,13	32,72	8,42

**Tabela 2.5** - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 1992 a 1996.

Dados em porcentagem (%)		Classes em 1992 (%)					
		Agropecuária	Áreas Urbanas	Corpos d'água	Reflorestamento	Vegetação Alterada	Vegetação Natural
Classes em 1996 (%)	Agropecuária	<b>89,52</b>	0,00	0,00	1,22	13,62	4,27
	Áreas Urbanas	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
	Corpos d'água	0,00	0,00	<b>99,83</b>	0,00	0,01	0,00
	Reflorestamento	0,04	0,00	0,00	<b>81,82</b>	0,56	0,03
	Vegetação Alterada	4,63	0,00	0,05	16,09	<b>64,78</b>	1,14
	Vegetação Natural	5,81	0,00	0,12	0,87	21,03	<b>94,56</b>
Total da classe		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mudanças na Classe		10,49	0,00	0,17	18,18	35,22	5,43

**Tabela 2.6** - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 1996 a 2000.

Dados em porcentagem (%)		Classes em 1996 (%)					
		Agropecuária	Áreas Urbanas	Corpos d'água	Reflorestamento	Vegetação Alterada	Vegetação Natural
Classes em 2000 (%)	Agropecuária	<b>91,81</b>	0,00	0,01	3,25	20,29	5,64
	Áreas Urbanas	0,01	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,08	0,00
	Corpos d'água	0,00	0,00	<b>99,51</b>	0,00	0,01	0,01
	Reflorestamento	0,02	0,00	0,00	<b>79,97</b>	0,55	0,03
	Vegetação Alterada	3,03	0,00	0,11	12,68	<b>41,33</b>	1,96
	Vegetação Natural	5,13	0,00	0,39	4,10	37,74	<b>92,36</b>
Total da classe		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mudanças na Classe		8,19	0,00	0,51	20,03	58,67	7,64

**Tabela 2.7** - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 2000 a 2004.

Dados em porcentagem (%)		Classes em 2000 (%)					
		Agropecuária	Áreas Urbanas	Corpos d'água	Reflorestamento	Vegetação Alterada	Vegetação Natural
Classes em 2004 (%)	Agropecuária	<b>94,43</b>	0,00	0,02	7,85	31,32	7,40
	Áreas Urbanas	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,01
	Corpos d'água	0,00	0,00	<b>99,64</b>	0,00	0,02	0,01
	Reflorestamento	0,10	0,00	0,00	<b>79,62</b>	0,73	0,06
	Vegetação Alterada	2,30	0,00	0,13	10,67	<b>52,35</b>	2,96
	Vegetação Natural	3,17	0,00	0,21	1,86	15,58	<b>89,56</b>
Total da classe		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mudanças na Classe		5,57	0,00	0,36	20,38	47,65	10,43

**Tabela 2.8** - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 2004 a 2008.

Dados em porcentagem (%)		Classes em 2004 (%)					
		Agropecuária	Áreas Urbanas	Corpos d'água	Reflorestamento	Vegetação Alterada	Vegetação Natural
Classes em 2008 (%)	Agropecuária	<b>94,23</b>	0,00	0,02	6,60	27,02	5,07
	Áreas Urbanas	0,01	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,01	0,00
	Corpos d'água	0,00	0,00	<b>99,91</b>	0,00	0,03	0,02
	Reflorestamento	0,15	0,00	0,00	<b>64,23</b>	0,61	0,05
	Vegetação Alterada	3,85	0,00	0,07	26,47	<b>46,76</b>	2,76
	Vegetação Natural	1,76	0,00	0,00	2,70	25,57	<b>92,10</b>
Total da classe		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mudanças na Classe		5,77	0,00	0,09	35,77	53,24	7,91

**Tabela 2.9** - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 2008 a 2011.

Dados em porcentagem (%)		Classes em 2008 (%)					
		Agropecuária	Áreas Urbanas	Corpos d'água	Reflorestamento	Vegetação Alterada	Vegetação Natural
Classes em 2011 (%)	Agropecuária	<b>99,68</b>	0,00	0,03	11,78	36,29	4,23
	Áreas Urbanas	0,01	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,01	0,00
	Corpos d'água	0,00	0,00	<b>99,96</b>	0,00	0,00	0,00
	Reflorestamento	0,03	0,00	0,00	<b>48,92</b>	0,08	0,00
	Vegetação Alterada	0,06	0,00	0,00	39,24	<b>59,77</b>	0,48
	Vegetação Natural	0,22	0,00	0,01	0,06	3,85	<b>95,29</b>
Total da classe		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mudanças na Classe		0,31	0,00	0,04	51,09	40,23	4,71

## 2.4 - DISCUSSÕES

A dinâmica da ocupação da terra na fronteira agrícola do Oeste da Bahia sobre o Grupo Urucua está relacionada com a evolução das políticas públicas agrícolas e as variações na economia nacional e internacional (BRANNSTROM, 2005; MENKE *et al.*, 2009). Dentre os principais atores institucionais responsáveis pela criação e realização de ações que influenciaram no desenvolvimento da área em estudo, destacam-se:

- **Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio (MAIC)** - criado em 1909 tinha uma ampla gama de atuação. Ao longo dos anos teve várias alterações em seu nome e nas suas atribuições. Em 2001 a denominação passou a ser Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Atualmente é o órgão responsável pela gestão da política agrícola nacional.
- **Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE)** - criada em 1959 tinha uma vasta gama de atuação. Foi extinta em 2001 e substituída pela ADENE (Agência de Desenvolvimento do Nordeste). Em 2007 a ADENE foi extinta e recriou-se a SUDENE. Foi importante na expansão e modernização da infraestrutura de transportes e energia. Também atuou na implantação, ampliação e modernização de empreendimentos com base na concessão de incentivos de isenção total ou parcial do imposto de renda.
- **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)** - criada em 1973 contribuiu de forma decisiva para o domínio da tecnologia de manejo dos solos do Cerrado.
- **Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf)** - criada em 1974, tem como objetivo promover o desenvolvimento da região utilizando os recursos hídricos com ênfase na irrigação.
- **Companhia de Promoção Agrícola (CAMPO)** - criada em 1978, esta empresa tem o objetivo de desenvolver o potencial agrícola da região do Cerrado brasileiro.
- **Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Reforma Agrária, Pesca e Aquicultura da Bahia (Seagri)** - desvinculada da secretaria de Indústria e Comércio do governo da Bahia no início da década de 1980, atuou principalmente no desenvolvimento de programas voltados para a agropecuária, irrigação e agricultura familiar.

- **Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA)** - criada em 1990, atualmente possui mais de 1.300 associados. Atua na área de pesquisa e tecnologia.
- **Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA)** - criada em 1991 a partir da fusão entre a Empresa de Pesquisa Agropecuária da Bahia (EPABA) e a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural da Bahia (Emater-BA), atua principalmente na pesquisa e fomento da agropecuária e na assistência técnica e extensão rural.
- **Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia (SRH)** - criada em 1995 foi o órgão responsável pela outorga de uso da água para irrigação até o ano de 2008 quando foi substituída pelo Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ). Em 2011 a outorga de uso da água passou a ser de responsabilidade do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (Inema).

Ao longo do tempo, várias ações e programas contribuíram para o desenvolvimento da agropecuária na região da fronteira agrícola do Oeste da Bahia, destacando-se:

- **Institucionalização do crédito rural** - criado pela lei federal nº 4.829 de 5 de novembro de 1965, regulamenta o custeio, os investimentos, a comercialização e a industrialização de produtos agropecuários.
- **Programa de Redistribuição de Terras e de Estímulo à Agroindústria do Norte e do Nordeste (PROTERRA)** - criado pelo Decreto-lei nº 1.179 de 6 de julho de 1971, utilizava de incentivos fiscais para promover o acesso do homem à terra, criar melhores condições de emprego de mão-de-obra e fomentar a agroindústria.
- **Programa de Assistência Financeira à Agroindústria e a Indústria de Insumos, Máquinas, Tratores e Implementos Agropecuários (PAFAI)** - criado pelo governo federal em 1971, concedia créditos com juros diferenciados para ampliar a oferta de insumos, máquinas, tratores e implementos necessários ao setor rural, bem como oferecer condições de beneficiamento e industrialização dos produtos agropecuários das regiões abrangidas pelo PROTERRA.
- **Programa de Desenvolvimento da Agroindústria do Nordeste (PDAN)** - instituído pelo Conselho de Desenvolvimento Econômico em 1974, a sua



execução ficou a cargo da SUDENE e do Banco do Nordeste, mediante taxas de juros subsidiadas.

- **Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER)** - criado em 1978 por meio de um acordo de cooperação entre o Brasil e o Japão é coordenado pela Companhia de Promoção Agrícola (CAMPO). Na região do Oeste da Bahia, a segunda etapa deste projeto (PRODECER II) foi desenvolvida no município de Formosa do Rio Preto, que em 1985 iniciou a implantação de assentamentos rurais.
- **Programa de Financiamento de Equipamentos de Irrigação (PROFIR)** - criado pelo Decreto federal nº 86.912, de 10 de fevereiro de 1982, tinha como objetivo principal aumentar a produção e a produtividade da agricultura nacional de alimentos básicos. Foi executado por intermédio de linha especial de financiamento à aquisição e à implantação de equipamentos de irrigação.
- **Programa Nacional de Irrigação (PRONI)** - criado pelo Decreto federal nº 92.395 de 12 de fevereiro de 1986 tinha o objetivo de executar a Política Nacional de Irrigação. O decreto de criação deste programa foi revogado em fevereiro de 1991.
- **Programa de Irrigação do Nordeste (PROINE)** - criado pelo Decreto federal nº 92.344 de 29 de janeiro de 1986, foi implementado pela SUDENE.
- **Instituição da política agrícola** - institucionalizada pela lei federal nº 8.171 de 17 de janeiro de 1991, suas ações concentram-se em três linhas de atuação: gestão do risco rural, crédito e comercialização. Esta lei estabelece ainda a criação dos planos de safra, que com o passar do tempo, adquiriram montantes significativos de recursos financeiros.
- **Programa de Investimento para Modernização da Agricultura Baiana (AGRINVEST)** - criado pelo Decreto estadual nº 7.749 de 21 de janeiro de 2000 tem o objetivo de fomentar projetos dos setores agropecuário, agroindustrial e pesqueiro. Através deste Programa, o Governo da Bahia assume o pagamento de 50% dos custos financeiros dos financiamentos, durante o período de carência, limitados a 6% ao ano.
- **Programa de Desenvolvimento da Cafeicultura do Oeste do Estado da Bahia (PRODECAF)** - criado em 2000 pelo governo do estado da Bahia, tem o

objetivo de desenvolver ações integradas de assistência técnica, gerencial e de crédito.

- **Programa de Incentivo ao Algodão na Região Oeste do Estado da Bahia (PROALBA)** - criado pela lei estadual nº 7.932 de 19 de setembro de 2001 tem o objetivo de recuperar e desenvolver a cultura do algodão no território baiano, em especial quanto à modernização tecnológica. Este programa concede a redução de até 50% do ICMS incidente sobre o valor da comercialização do algodão em pluma, desde que o produtor obedeça a critérios de manejo da lavoura e qualidade da produção, pré-estabelecidos.

A detecção das mudanças no uso e cobertura da Terra na fronteira agrícola do Oeste da Bahia entre os anos de 1988 e 2011 demonstrou o resultado das ações e programas de incentivo agrícola, que proporcionaram um aumento das áreas de agropecuária e a redução das áreas de vegetação natural (**Figuras 2.3 e 2.4**). Além disso, as áreas de agropecuária, que inicialmente ocorriam de forma esparsa na paisagem, com o tempo, progrediram para extensas manchas contínuas, onde inexistem áreas naturais preservadas em seu interior (**Figuras 2.3 e 2.7**). Outro aspecto importante é que em termos de área total, o avanço da agropecuária se deu principalmente sobre as áreas de vegetação natural, compostas predominantemente por Cerrado nativo (SANTANA *et al.*, 2010).

As ações e programas, em especial o PROFIR (implementado em 1982), PRONI e PROINE (implementados em 1986), também contribuíram para o aumento das áreas de irrigação na região da fronteira agrícola do Oeste da Bahia. No município de Barreiras, o número de pivôs centrais passou de 9 em 1988 para 302 em 2008, o que corresponde a cerca de 3,87% de sua área total (FLORES *et al.*, 2012). O município de Luís Eduardo Magalhães não possuía nenhum pivô central em 1987 e em 2008 possuía 126, o que corresponde a aproximadamente 3% de sua área total (MENKE *et al.*, 2009). O aumento no número de pivôs centrais também foi identificado nos municípios de São Desidério (SPAGNOLO *et al.*, 2012) e Correntina (PINHEIRO, 2012), que passaram de 8 e 2 pivôs centrais em 1988 para 254 e 56 em 2008, respectivamente.

Os dados oficiais do IBGE sobre a área plantada e a quantidade produzida para o algodão herbáceo em caroço, milho, soja, arroz, café e feijão no período 1990-2012 demonstram os impactos de todos esses programas de incentivos fiscais e de linhas de crédito na expansão das áreas agrícolas (**Figuras 2.8, 2.9, 2.10 e 2.11**).

A área plantada de soja passou de 195.000 hectares em 1990 para 1.109.707 hectares em 2012 (**Figura 2.8**). A quantidade produzida também evoluiu no período, passando de 220.402 toneladas em 1990 para 3.204.038 toneladas em 2012 (**Figura 2.9**).

O crescimento da área plantada de algodão herbáceo em caroço foi mais acentuado a partir do ano de 2000 (**Figura 2.8**), após a criação dos programas AGRINVEST e PROALBA. Em 1990 eram apenas 761 hectares, em 1999 eram 14.000 hectares e em 2012 alcançou os 382.926 hectares. A quantidade produzida passou de 1.284 toneladas em 1988 para 1.244.971 toneladas em 2012 (**Figura 2.9**). Os dados do IBGE (2014) indicam que em 2012 o valor da produção do algodão foi de dois bilhões e setecentos milhões de reais, valor superior ao da soja.

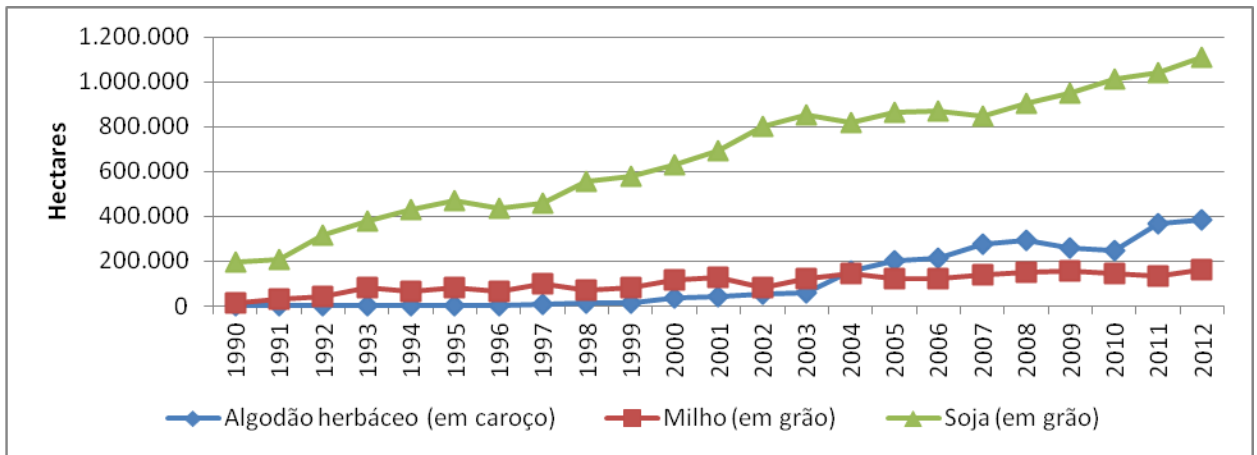
A área plantada de milho apresenta pequenas variações ao longo do período analisado, mas em termos gerais, o crescimento foi quase constante, passando de 15.853 hectares em 1990 para 163.544 hectares em 2012 (**Figura 2.8**). A quantidade produzida aumentou de 20.476 toneladas em 1990 para 1.749.247 toneladas em 2012 (**Figura 2.9**).

O Programa de Desenvolvimento da Cafeicultura do Oeste do Estado da Bahia (PRODECAF) contribuiu para a ampliação e consolidação das áreas de plantio de café (**Figura 2.10**). De 1990 a 1995 não havia registro de área plantada na região. Em 1996 surgiram 100 hectares, passando para 7.215 hectares em 1999 e 13.144 hectares em 2012. A quantidade produzida apresenta variações ao longo do período, sendo que em 2012 foi de 30.883 toneladas (**Figura 2.11**).

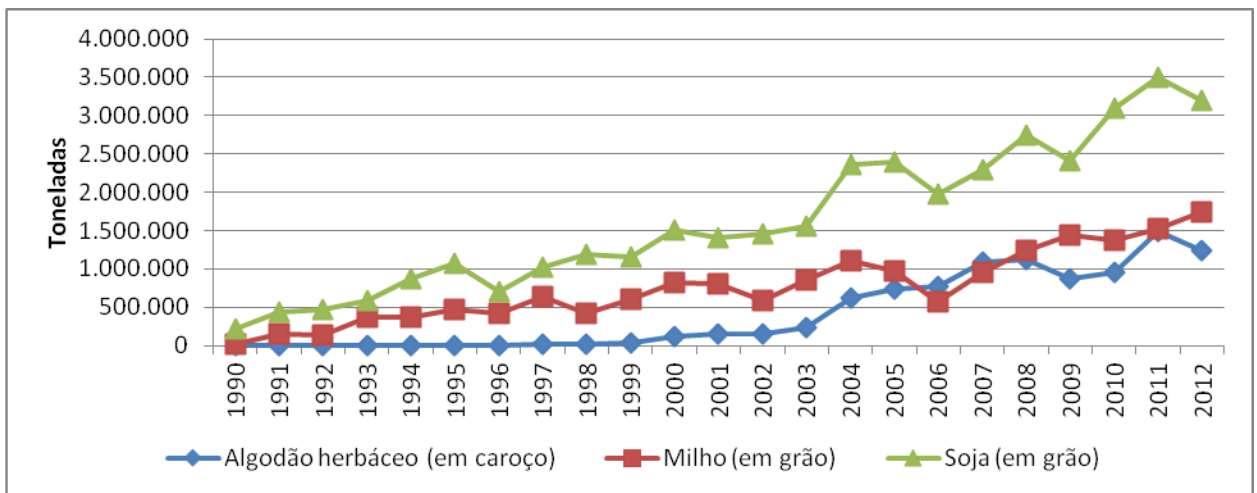
A área plantada de feijão também teve variações no período analisado (**Figura 2.10**). Em 1990 eram 11.053 hectares. Em 1993 aumentou para 41.815 hectares. No período de 1994 a 2007 há uma redução significativa na área plantada, que volta a crescer em 2008. A quantidade produzida acompanha as oscilações da área plantada (**Figura 2.11**).

Em sentido contrário, a área plantada de arroz teve redução no período analisado (**Figura 2.10**). Em 1990 eram 24.017 hectares, aumentando para 67.285 hectares em 1992. A partir de 1992 inicia-se a redução na área plantada, restando 11.896 hectares em 2012. A quantidade produzida teve uma das maiores variações dentre as culturas analisadas (**Figura 2.11**).

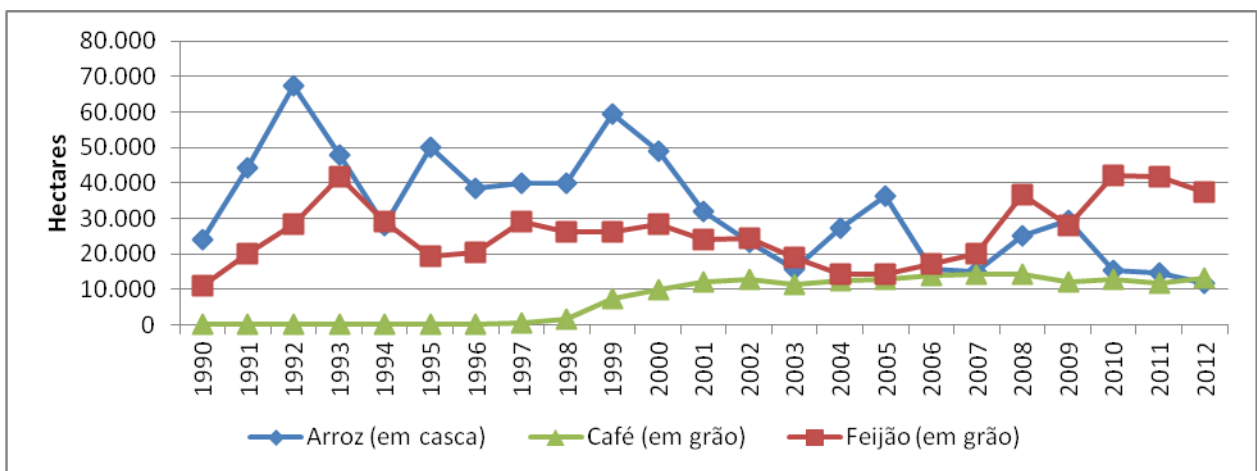
Por fim, cabe destacar, que a região da fronteira agrícola do Oeste da Bahia sobre o Grupo Urucuia ainda possui áreas significativas de vegetação natural, que é composta principalmente por Cerrado nativo (**Figuras 2.3 e 2.4**). Entretanto, a rápida expansão das atividades agropecuárias pode comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas locais e a recarga do Sistema Aquífero Urucuia.



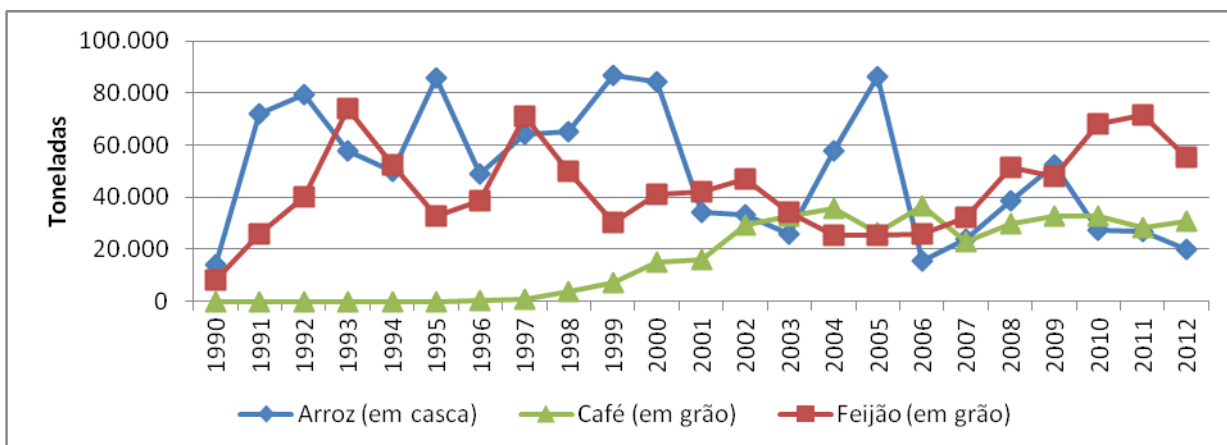
**Fig. 2.8** - Área plantada de algodão, milho e soja na área de estudo de 1990 a 2012. Fonte: IBGE, 2014.



**Fig. 2.9** - Quantidade produzida de algodão, milho e soja na área de estudo de 1990 a 2012. Fonte: IBGE, 2014.



**Fig. 2.10** - Área plantada de arroz, café e feijão na área de estudo de 1990 a 2012. Fonte: IBGE, 2014.



**Fig. 2.11** - Quantidade produzida de arroz, café e feijão na área de estudo de 1990 a 2012.

Fonte: IBGE, 2014.

Segundo Gaspar & Campos (2007) além de regular a vazão dos afluentes da margem esquerda do médio rio São Francisco e das nascentes dos tributários da margem direita do rio Tocantins na borda ocidental da Serra Geral de Goiás, a água subterrânea do Sistema Aquífero Urucuaia tem sido progressivamente procurada como fonte de abastecimento, haja vista a baixa densidade de drenagem da região e a crescente demanda de água para o suprimento das sedes de fazendas, vilarejos e projetos de irrigação.

Diante disso, faz-se necessário a realização de novos estudos para avaliar a situação das unidades de conservação, das áreas de preservação permanente e do nível de fragmentação do Cerrado. Estes estudos podem auxiliar na proposição de corredores ecológicos locais e regionais, contribuindo assim, para a manutenção da biodiversidade local e para a preservação das áreas de recarga do Sistema Aquífero Urucuaia.

## 2.5 - CONCLUSÃO

A detecção de mudança por meio do método de pós-classificação permitiu a caracterização e a descrição da evolução do uso e cobertura da Terra na área de estudo. Os procedimentos adotados permitiram a obtenção e monitoramento de seis classes de uso e cobertura da Terra: agropecuária, áreas urbanas, corpos d'água, reflorestamento, vegetação alterada e vegetação natural. No período analisado, as maiores mudanças ocorreram nas classes de vegetação natural (com redução de 26,57% em sua área de ocorrência) e agropecuária (com crescimento de 27,13%).

A análise das mudanças demonstrou alterações internas nas classes de agropecuária, reflorestamento, vegetação alterada e vegetação natural entre os períodos estudados, onde parte de suas áreas foram convertidas em outros tipos de uso e cobertura da Terra.

A expansão da agropecuária, impulsionada pelo surgimento de programas de linhas de crédito e de incentivos fiscais, ocorreu principalmente sobre as áreas de Cerrado nativo, formando extensas manchas contínuas de uso da terra onde inexistia vegetação natural preservada em seu interior.

A análise dos dados do IBGE sobre a área plantada e a quantidade produzida no período de 1990 a 2012 indica que os principais produtos agrícolas da área de estudo são a soja, o algodão e o milho.

Destaca-se ainda, que os polígonos gerados poderão ser retrabalhados posteriormente, o que permitirá a atualização constante do monitoramento do uso e cobertura da Terra na fronteira agrícola do Oeste da Bahia sobre o Grupo Urucuia.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem aos seguintes financiadores: Instituto Federal de Brasília (IFB) pela concessão de licença remunerada ao autor Sandro Nunes de Oliveira; ao CNPq pelo financiamento das bolsas de pesquisa aos autores Osmar Abílio de Carvalho Júnior, Roberto Arnaldo Trancoso Gomes, Renato Fontes Guimarães e Éder de Souza Martins. Em especial os autores agradecem ao Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE) da Universidade de Brasília (UnB), a Aline Brignol Menke, Aracelly dos Santos Castro, Bruno Pimenta Guimarães, Fabiana de Oliveira Hessel, Luana Cristine da Silva Jardim Pinheiro, Pedro Maury Flores, Rosana Sumiya Gurgel e Thiago Felipe de Oliveira Spagnolo pelo fornecimento dos dados do mapeamento do uso e cobertura da Terra.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABELSON, P. H.; ROWE, J. W. A new agricultural frontier. **Science**, v. 235, p. 1450-1451, 1987.

ADAMS, J. B.; SABOL, D. E.; KAPOS, V.; ALMEIDA FILHO, R.; ROBERTS, D. A.; SMITH, M. O.; GILLESPIE, A. R. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: Application to land-cover change in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 52, p. 137-154, 1995.

BATISTELLA, M.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E. E.; VIEIRA, H. R.; VALLADARES, G. S.; MANGABEIRA, J. A. C.; ASSIS, M. C. **Monitoramento da expansão agropecuária na região Oeste da Bahia**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002. 40 p. (Documentos, 20).

BOVOLO, F.; BRUZZONE, L. A theoretical framework for unsupervised change detection based on change vector analysis in the Polar Domain. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, p. 218-236, 2007.

BRANNSTROM, C. Environmental policy reform on north-eastern Brazil's agricultural frontier. **Geoforum**, v. 36, p. 257-271, 2005.

BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A. M.; REDO, D.; XU, Z.; GANESH, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986–2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. **Land Use Policy**, v. 25, p. 579-595, 2008.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE M. A. Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, p. 269-282, 1997a.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE M. A. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, p. 283-294, 1997b.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GILLESPIE, A. R.; SILVA, N. C.; GOMES, R. A. T. A new approach to change vector analysis using distance and similarity measures. **Remote Sensing**, v. 3, p. 2473-2493, 2011.

CASTRO, A. S.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S. Análise da dinâmica da paisagem no município de Formosa do Rio Preto (BA). **Espaço & Geografia**, v. 16, p. 307-323, 2013.

DENG, J. S.; WANG, K.; DENG, Y. H.; QI, G. J. PCA-based land-use change detection and analysis using multitemporal and multisensor satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, p. 4823-4838, 2008.

ELMORE, A. J.; MUSTARD, J. F.; MANNING, S. J.; LOBELL, D. B. Quantifying vegetation change in semiarid environments: Precision and accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index. **Remote Sensing of Environment**, v. 73, p. 87-102, 2000.

FERREIRA, L. G.; FERNANDEZ, L. E.; SANO, E. E.; FIELD, C.; SOUSA, S. B.; ARANTES, A. E.; ARAÚJO, F. M. Biophysical properties of cultivated pastures in the Brazilian Savanna Biome: An analysis in the spatial-temporal domains based on ground and satellite data. **Remote Sensing**, v. 5, p. 307-326, 2013.

FERREIRA, M. V.; RIEDEL, P. S.; MARQUES, M. L.; TINÓS, T. M. Comparação entre técnicas de classificação digital de imagens para detecção de mudanças do uso e cobertura da terra. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, p. 613-627, 2010.

FLORES, P. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T. Análise multitemporal da expansão agrícola no município de Barreiras - Bahia (1988 - 2008). **Campo - Território**, v. 7, p. 1-19, 2012.

FULLER, R. M.; SMITH, G. M.; DEVEREUX, B. J. The characterisation and measurement of land cover change through remote sensing: problems in operational applications? **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 4, p. 243-253, 2003.

FUNG, T.; LEDREW, E. Application of principal components analysis to change detection. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 53, p. 1649-1658, 1987.

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O Sistema Aquífero Urucuia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, p. 216-226, 2007.

GUIMARÃES, B. P. **Análise multitemporal do uso e ocupação do solo no município de Baianópolis (BA)**. 51f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

GURGEL, R. S.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; GUIMARAES, R. F.; MARTINS, E. S. Relação entre a evolução do uso da terra com as unidades geomorfológicas no município de Riachão das Neves (BA). **GeoTextos**, v. 9, p. 177-201, 2013.

HEALEY, S. P.; YANG, Z.; COHEN, W. B.; PIERCE, D. J. Application of two regression-based methods to estimate the effects of partial harvest on forest structure using Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, p. 115-126, 2006.

HESSEL, F. O.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. Dinâmica e sucessão dos padrões da paisagem agrícola no município de Cocos (Bahia). **RA'E GA**, v. 26, p. 128-156, 2012.



HOWARTH, P. J.; WICKWARE, G. M. Procedures for change detection using Landsat digital data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 2, p. 277-291, 1981.

HUDAK, A. T.; WESSMAN, C. A. Deforestation in Mwanza District, Malawi, from 1981 to 1992, as determined from Landsat MSS imagery. **Applied Geography**, v. 20, p. 155-175, 2000.

HUIPING, Z.; HONG, J.; QINGHUA, H. Landscape and water quality change detection in Urban Wetland: A post-classification comparison method with IKONOS data. **Procedia Environmental Sciences**, v. 10, p. 1726-1731, 2011.

HUZUI, A. E.; CĂLIN, I.; PĂTRU-STUPARIU, I. Spatial pattern analyses of landscape using multi-temporal data sources. **Procedia Environmental Sciences**, v. 14, p. 98-110, 2012.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal** - 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=27&i=P>>. Acesso em: 11 agosto 2014.

IGARASHI, T. Alos mission requirement and sensor specifications. **Advances in Space Research**, v. 28, p. 127-131, 2001.

JASINSKI, E.; MORTON, D.; DEFRIES, R.; SHIMABUKURO, Y.; ANDERSON, L.; HANSEN, M. Physical landscape correlates of the expansion of mechanized agriculture in Mato Grosso, Brazil. **Earth Interactions**, v. 9, p. 1-18, 2005.

JAXA. JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY. **ALOS product format description (PRISM)**. 2006. Disponível em: <[http://www.ga.gov.au/webtemp/image\\_cache/GA10285.pdf](http://www.ga.gov.au/webtemp/image_cache/GA10285.pdf)>. Acesso em: 19 agosto 2014.

JENSEN, J. R.; COWEN, D. J.; ALTHAUSEN, J. D.; NARUMALANI, S.; WEATHERBEE, O. An evaluation of Coastwatch change detection protocol in South Carolina. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 59, p. 1039-1046, 1993.

KENNEDY, R. E.; COHEN, W. B.; SCHROEDER, T. A. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics. **Remote Sensing of Environment**, v. 110, p. 370-386, 2007.

- LAMBIN, E. F. Monitoring forest degradation in tropical regions by remote sensing: some methodological issues. **Global Ecology and Biogeography**, v. 8, p. 191-198, 1999.
- LIU, D.; SONG, K.; TOWNSHEND, J. R. G.; GONG, P. Using local transition probability models in Markov random fields for forest change detection. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 2222-2231, 2008.
- LIU, H.; ZHOU, Q. Accuracy analysis of remote sensing change detection by rule-based rationality evaluation with post-classification comparison. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 1037-1050, 2004.
- LOVELAND, T. R.; SOHL, T. L.; STEHMAN, S. V.; GALLANT, A. L.; SAYLER, K. L.; NAPTON, D. E. A strategy for estimating the rates of recent United States land-cover changes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 68, p. 1091-1099, 2002.
- LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 2365-2407, 2003.
- MAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, p. 139-152, 1999.
- MENKE, A. B.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, S. N. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luís Eduardo Magalhães (BA - Brasil). **Sociedade & Natureza**, v. 21, p. 315-326, 2009.
- MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Monitoramento do Bioma Cerrado 2009 - 2010**. Brasília, 2011. 65p.
- NASA. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Landsat 5**. 2014. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3217>>. Acesso em: 19/08/2014.
- NEPSTAD, D. C.; KLINK, C. A.; UHL, C.; VIEIRA, I. C.; LEFEBVRE, P.; PEDLOWSKI, M.; MATRICARDI, E.; NEGREIROS, G.; BROWN, I. F.; AMARAL, E.; HOMMA, A.; WALKER, R. Land-use in Amazonia and the Cerrado of Brazil. **Ciência e Cultura**, v.49, p. 73-86, 1997.
- PINHEIRO, L. C. S. J. **Análise multitemporal da dinâmica do uso e cobertura da terra no município de Correntina - BA**. 2012. 66f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

- QIN, D.; JIANWEN; M.; YUN, O. Y. Remote sensing data change detection based on the CI test of Bayesian networks. **Computers & Geosciences**, v. 32, p. 195-202, 2006.
- RAFIEE, R.; MAHINY, A. S.; KHORASANI, N. Assessment of changes in urban green spaces of Mashad city using satellite data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.11, p. 431-438, 2009.
- RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, p. 223-230, 1997.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113-124, 2010.
- SANO, E. E.; SANTOS, C. C. M.; SILVA, E. M.; CHAVES, J. M. Fronteira agrícola do Oeste Baiano: considerações sobre os aspectos temporais e ambientais. **Geociências**, v. 30, p. 479-489, 2011.
- SANTANA, J. M. A. **O Estado e a organização espacial do Oeste Baiano**. 2008. 114f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.
- SANTANA, O. A.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; CARDOSO, W. S.; MARTINS, E. S.; PASSO, D. P.; GUIMARÃES, R. F. Distribuição de espécies vegetais nativas em distintos macroambientes na região do oeste da Bahia. **Espaço & Geografia**, v. 13, p. 181-223, 2010.
- SAUNIER, S.; GORYL, P.; CHANDER, G.; SANTER, R.; BOUVET, M.; COLLET, B.; MAMBIMBA, A.; AKSAKAL, S. K. Radiometric, geometric, and image quality assessment of ALOS AVNIR-2 and PRISM sensors. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 48, p. 3855-3866, 2010.
- SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a Tropical Savanna Hotspot. **BioScience**, v. 52, p. 225-233, 2002.
- SILVA, N. C.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; ROSA, A. N. C. S.; GUIMARÃES, R. F.; Gomes, R. A. T. Change detection software using self-organizing feature maps. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 30, p. 505-518, 2012.
- SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, p. 989-1003, 1989.

SOLIMAN, G.; SOUSSA, H. Wetland change detection in Nile swamps of southern Sudan using multitemporal satellite imagery. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 5, 2011.

SPAGNOLO, T. F. O.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. S.; COUTO JÚNIOR, A. F. Dinâmica da expansão agrícola do município de São Desidério-BA entre os anos de 1984 a 2008, importante produtor nacional de soja, algodão e milho. **Geo UERJ**, v. 2, p. 603-618, 2012.

SPIGOLON, A. L. D.; ALVARENGA, C. J. S. Fácies e elementos arquiteturais resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, p. 579-586, 2002.

TURAZI, C. M. V.; CARVALHO, A. P. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Emprego da metodologia de detecção de mudanças a partir de mistura espectral no projeto de assentamento Americana, município de Grão Mogol-MG. **Espaço & Geografia**, v. 12, p. 151-183, 2009.

VAN DE VOORDE, T.; DE GENST, W.; CANTERS, F. Improving pixel-based VHR land-cover classifications of urban areas with post-classification techniques. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 73, p. 1017-1027, 2007.

YUAN, F.; SAWAYA, K. E.; LOEFFELHOLZ, B. C.; BAUER, M. E. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 98, p. 317-328, 2005.

### **CAPÍTULO 3 - LANDSCAPE-FRAGMENTATION CHANGE DETECTION DUE TO AGRICULTURAL EXPANSION IN THE BRAZILIAN SAVANNA, WESTERN BAHIA, BRAZIL (1988-2011)**

#### **ABSTRACT**

The aim in this study was to detect changes in landscape-fragmentation patterns resulting from the expansion of agriculture in the *Cerrado* region (Brazilian Savanna) during the period 1988-2011. The study area covers 7,559,783.69 hectares and is restricted to the limits of the Urucuia Group (Upper Cretaceous), a geological unit formed by sedimentary rocks of continental deposits where there has been intense agricultural expansion due to favorable conditions for the use of mechanized farming. The temporal analysis considered land-use/land-cover data from Landsat TM image classification for the years 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008 and 2011. Fragmentation quantification was performed from the Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA) and traditional Landscape Metrics Analysis. The calculation of MSPA attributes considered 10 edge widths, between 30 meters and 300 meters. Traditional landscape metrics were obtained from Path Analyst and V-Late software. Change detection in MSPA classes was obtained through cross-tabulation. *Cerrado* deforestation in the study area increased from 795,502.61 hectares in 1988 to 2,804,679.75 hectares in 2011. The spatial pattern of *Cerrado* deforestation and fragmentation has a spatial concentration in the western region of the study area that gradually progresses towards the east. Our results emphasize the fragmentation process with a reduction in the following fragmentation indicators over the past two decades: area, number of patches, core and edge. In addition, the indicators increased in complexity, size variation, and coreless fragments. Change detection enabled the description of spatial evolution of fragmentation indicators. The results can help define strategies for landscape planning and decision making for conservation priorities.

**Keywords:** fragmentation change detection; morphological spatial pattern analysis; landscape metrics; land-use/land-cover change.

### 3.1 - INTRODUCTION

The *Cerrado* (savanna) biome located in Central Brazil covers an area of approximately 2 million km<sup>2</sup> and contains a very rich flora with high endemism (Klink and Machado 2005; Ratter et al. 1997). This biome is one of the major agricultural frontiers of Brazil (Brannstrom 2005). Human occupation of this biome intensified from the 1970s with the introduction of new agricultural technologies (Rada 2013), private agricultural colonization (Jepson 2006), public policies (Jepson et al. 2010), and expansion of rural credit (Castro and Teixeira 2012). By 2010, 48.54% of the natural area of the *Cerrado* had been converted into land-use types according to the Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA), a federal agency under the Ministry of Environment (MMA) (MMA-IBAMA 2011). This land conversion to agriculture results in a habitat fragmentation that threatens the biodiversity and ecosystem functions (Carvalho et al. 2009; Grecchi et al. 2014). Therefore, the intensification of anthropogenic processes has made the Brazilian Cerrado a biodiversity hotspot for conservation priorities (Myers et al. 2000; Silva and Bates 2002).

Landscape fragmentation is a process that produces habitat loss, size reduction and/or increasing isolation of habitats (Andr n 1994). The main causes of landscape fragmentation are agricultural growth, road construction, as well as implantation of urban areas and infrastructure projects (Uuemaa et al. 2009). Fragmentation quantification has been performed using landscape metrics (McGarigal and Marks 1995; Jaeger 2000), regression analysis (Su et al. 2012), moving window analysis (Fan and Myint 2014), fractal analysis (Sun et al. 2014), entropy (Zaccarelli et al. 2013), surface metrics (McGarigal et al. 2009), and Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA) (Soille and Vogt 2009). However, few studies have been performed with a combination of landscape indicators. Some studies use two groups of metrics: traditional and those derived from a mathematical morphology framework (H binger et al. 2012; Salvati 2014; Salvati et al. 2015). This indicator combination enables a detailed examination of landscape transformation.

In a fragmentation study, characterization and quantification of the landscape structure must precede the study of the implications of their effects on ecological processes (Turner 1989; Turner 1990; McGarigal et al. 2009). In this context, many studies have focused on the spatial and/or temporal analysis of fragmentation patterns without explicit association with specific fauna or flora (Tang et al. 2012; Kang and Choi 2014; Kang and Kim 2015). This is because landscape changes impact not only on one but on several species

that depend of habitat quality factors (Fahrig 2003). Furthermore, spatial-temporal analysis of the landscape pattern assists in environmental planning and management, which increasingly seek to understand the cause-and-effect interrelationships between anthropogenic and natural agents (de Groot 2006; Saura et al. 2011).

Fragmentation change detection has been performed using morphological classes, since the landscape traditional metrics are not represented in pixels. Seebach et al. (2013) focused change analysis on the core class, while Ostapowicz al. (2006) and Cao et al. (2015) conducted studies considering all MSPA classes. In all fragmentation studies, the change detection method used is that of post-assessment, which is widely used in studies of change detection from remotely sensed data (Ardli and Wolff 2009; Soulard and Sleeter 2012; Mascorro et al. 2014). Post-classification change detection performs a comparison of two single-date classified images from manual or automatic classification and generates a change matrix, i.e. a cross-tabulation matrix between the temporal images (Howarth and Wickware 1981; Singh 1989).

The main requirement in post-classification change detection is the precise registration of the images to avoid mis-registration, which is one of the main sources of error (Carmel et al. 2001). Seebach et al. (2013) proposed Morphological Change Detection (MCD), which performs post-classification for binary maps (core and background classes) with morphological post-processing to improve change detection accuracy, removing the unwanted spurious changes from mis-registration and classification errors. However, the proposed method is limited to binary images, considering only the core class. An alternative is the adoption of a visual classification that performs a retro-analysis (from newest to oldest), maintaining the same lines of vegetation polygons for unchanged areas. This prevents error propagation from registration, as well as supervised and unsupervised classifications, such as those from changes in weather conditions, salt and pepper noise, phenological changes and soil moisture.

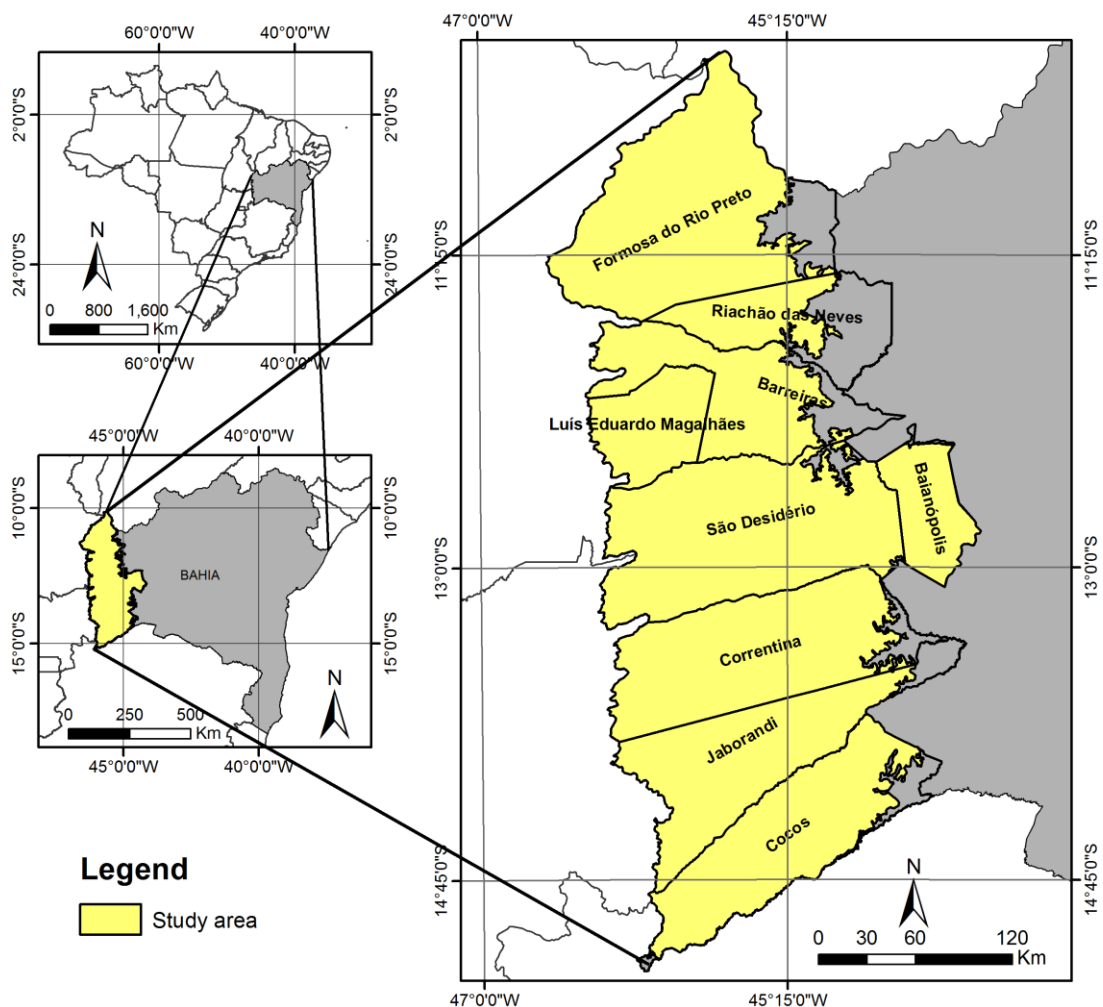
The aim in this paper is to detect changes in landscape fragmentation using MSPA and traditional landscape metrics, during the period 1988-2011. The study area is located in Bahia State (Brazil), in the *Cerrado* Biome, where mechanized agriculture is rapidly expanding. Traditional landscape metrics and MSPA classes were obtained from land-use and land-cover (LULC) dataset generated via classification of Landsat thematic mapper (TM) images for the years 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008 and 2011 (Oliveira et al. 2014). Traditional landscape metrics enable a fragmentation analysis at the general level, while the

morphological analysis allows detailing and spatial evolution of the patches. Changes in MSPA classes were obtained from cross-tabulation showing the changed locations.

## 3.2 - MATERIAL AND METHODS

### 3.2.1 - Study area

The study area encompasses the Urucuia Group geological formation, which includes nine municipalities of Bahia State, Brazil: Formosa do Rio Preto, Riachão das Neves, Barreiras, Luís Eduardo Magalhães, São Desidério, Baianópolis, Correntina, Jaborandi, and Cocos (**Fig. 3.1**). This area has 7,559,783.69 hectares and extends from 10°04'36"S to 15°14'38"S latitude and from 44°08'09"W to 46°37'48" W longitude.

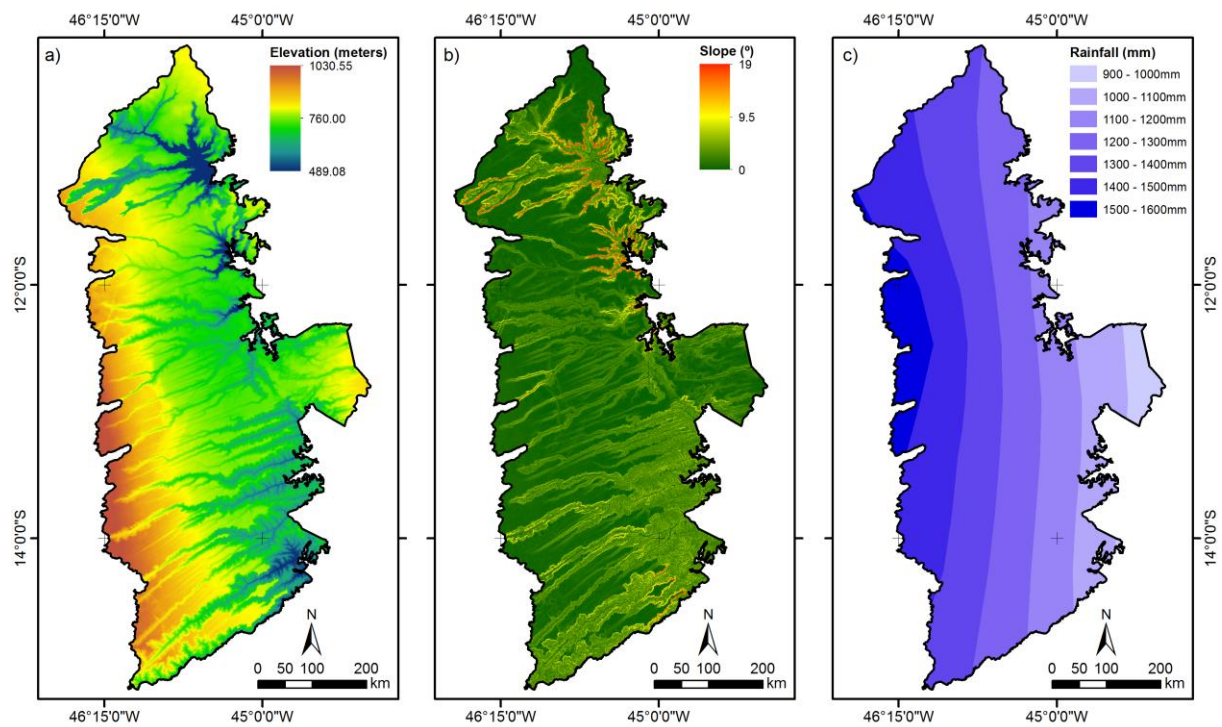


**Fig. 3.1** - Study area location.

The Urucuia Group (Upper Cretaceous) is subdivided into Posse and Serra das Araras formations (Campos and Dardenne 1997a,b). The sedimentology and facies association suggests a desert environment with field dune deposits that changed to a fluvial-



aeolian system represented by sandy sheet deposits (Spigolon and Alvarenga 2002). The terrains of the Urucuia Group are flat and composed mainly of well drained medium texture Oxisols, which favor the development of mechanized agriculture. This geological group contains the Urucuia aquifer that is responsible for flow regulation of the left-bank tributaries of the São Francisco River in the dry season (Gaspar et al. 2012). The groundwater has been used to supply farms, villages and irrigation projects. The study area has a cuesta landform associated with extensive and gently east-dipping surface. Therefore, the altitude decreases from west to east and the rivers have a parallel drainage pattern toward the São Francisco River (**Fig. 3.2a**). Fluvial incision into sedimentary layers generates slope areas bordering the rivers (**Fig. 3.2b**).



**Fig. 3.2** - Maps of terrain and rainfall attributes of study area: (a) elevation map generated from SRTM data, (b) slope, and (c) average rainfall (data from National Agency of Water and National Institute of Meteorology).

The region has a tropical precipitation regime characterized by well-defined wet (October to April) and dry (May to September) seasons (Felfili and Silva-Júnior 2001). The annual average temperatures range between 18 and 22 °C. Mean annual rainfall decreases rapidly to the east, with irrigation crops replacing rainfed agriculture that rely on rainfall for water (Flores et al. 2012; Spagnolo et al. 2012) (**Fig. 3.2c**).

In recent decades, this area represents a large agricultural frontier in the Cerrado biome, with intense conversion of natural vegetation to agricultural cropping (Brannstrom et al. 2008). The main crops are soybeans, cotton and corn (Oliveira et al. 2014). This is an appropriate study area for landscape-fragmentation change detection due to agriculture expansion.

### **3.2.2 - Land-use and land-cover maps**

#### *3.2.2.1 - Mapping using PRISM/ALOS images*

This study used the LULC map at 1:2,000 scale developed by the Laboratory of Spatial Information Systems (LSIE) at the University of Brasilia (UnB) in partnership with the Inter-American Institute of Commerce and Agriculture and the Ministry of National Integration. Images from Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping Panchromatic (PRISM) sensor onboard Advanced Land Observing Satellite (ALOS) were used for map elaboration. The panchromatic images had 2.5-m spatial resolution, 8 bits and a ground swath depending on the acquisition mode: 35 km in triplet mode and 70 km in nadir mode (Saunier et al. 2010). The product used was L1B2 (radiometrically and geometrically corrected) and the methodology was the visual interpretation using manual vectorization from ArcGIS 9.3 software. The image dates were predominantly from 2009, but with the possible lack of information for this year, 2008 or 2010 images were also used. In addition, fieldwork and other images from Landsat TM, CCD/CBERS 2 (Charged Couple Device / China-Brazil Earth Resources Satellite) and Google Earth helped in the interpretation. This LULC mapping identified 26 classes. However, these classes were simplified to six classes (water bodies, urban areas, agriculture, reforestation, altered vegetation and natural vegetation) to be consistent with the possible mapping performed for other dates with Landsat TM images. Most of the agglutinated classes had irrelevant areas.

#### *3.2.2.2 - Multi-temporal mapping using Landsat images*

Oliveira et al. (2014) conducted a classification of Landsat TM images for the years 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008, and 2011, considering a cloud cover of less than 10% during the dry season (May to September). The Landsat 5 TM images were co-registered using ENVI software, considering a root mean squared error (RMSE) less than 0.2 pixels to achieve an accuracy of 90% for change detection (Dai and Khorram 1998; Townshend et al. 1992). The Landsat TM images were classified by visual interpretation considering six predefined classes. This procedure ensured that the lines of polygons without land use

changes remain unchanged. Landscape-fragmentation change detection considered the natural vegetation class obtained for the study period.

The automatic mapping of LULC classes in agricultural areas is a complex procedure, because of the high variety of features (e.g. different types of soil, crops, and planting times). In addition, the spectral measurements may change according to the phenology of crop plants. In this context, the automated classification algorithms generate very different results for the same target (Rozenstein and Karnieli 2011), resulting in classification and change-detection errors (Seebach et al. 2013). However, land use and land cover classes are easily identified by visual interpretation, obtaining reliable results for small (Munsi et al. 2010; Ke et al. 2011) and large areas (Zuo et al. 2014). Additionally, the visual interpretation of remote sensing data for photointerpreters is widely used for the validation of supervised and unsupervised classifications (e.g. Stow et al. 2007; Sano et al. 2010).

### ***3.2.3 - Traditional landscape metrics analysis***

Traditional landscape metrics at the class level were calculated from natural vegetation class for the study period using Patch Analyst 5.0 extensions (Rempel et al. 2012) and v-LATE 1.1 (Lang and Tiede 2003). In this paper, we use 15 traditional landscape metrics: class area (CA), total edge (TE), edge density (ED), mean patch edge (MPE), number of patches (NumP), mean patch size (MPS), patch size standard deviation (PSSD), patch size coefficient of variation (PSCoV), mean shape index (MSI), area weighted mean shape index (AWMSI), mean patch fractal dimension (MPFD), area weighted mean patch fractal dimension (AWMPFD), landscape division index (DIVISION), effective mesh size (MESH), and splitting index (SPLIT). The descriptions of the landscape metrics are given in the FRAGSTATS User's Guide (McGarigal and Marks 1995) and v-LATE User's Guide (Lang and Tiede 2003). These 15 landscape metrics can be grouped into five categories: area (CA), edge (TE, ED and MPS), density, size and variability (NumP, MPS, PSSD and PSCoV), shape (MSI, AWMSI, MPFD and AWMPFD), and aggregation (DIVISION, MESH and SPLIT).

### ***3.2.4 - Morphological Spatial Pattern Analysis***

MSPA attributes information on the spatial and structural patterns of the landscape from binary images (forest/non-forest) at a 30-meter resolution and applies a sequence of morphological operators known as erosion, dilation, and anchored homotopic skeletonization (Vogt et al. 2007a; Vogt et al. 2009). The algorithm consists of a sequence of logic operations (union, intersection, complementation, and translation) considering geometric objects called

“structuring elements” of previously defined size and shape (Vogt et al. 2007b). Automated classification was performed by Guidos software (<http://forest.jrc.ec.europa.eu/download/software/guidos>), resulting in seven mutually exclusive classes: core, islet, bridge, loop, edge, perforation, and branch (Soille and Vogt 2009).

The calculation of MSPA attributes was conducted for all study years, considering 10 edge widths, ranging from 30 meters (one pixel) to 300 meters (10 pixels). The adoption of different edge dimensions was due to the distinct interference of different plant and animal species. In this interface between native vegetation and deforested areas, there are significant differences in composition, structure or function, which are exposed to diverse abiotic (e.g., wind, light and moisture) and biotic processes (e.g., animals, litter, seeds, pollen, pollutants) which vary with edge distance. Furthermore, the core area that consists of interior natural vegetation outside the edge zone is substantially changed by edge distance. Patch number and percentage of the total area were obtained for each class.

### ***3.2.5 - Fragmentation change detection***

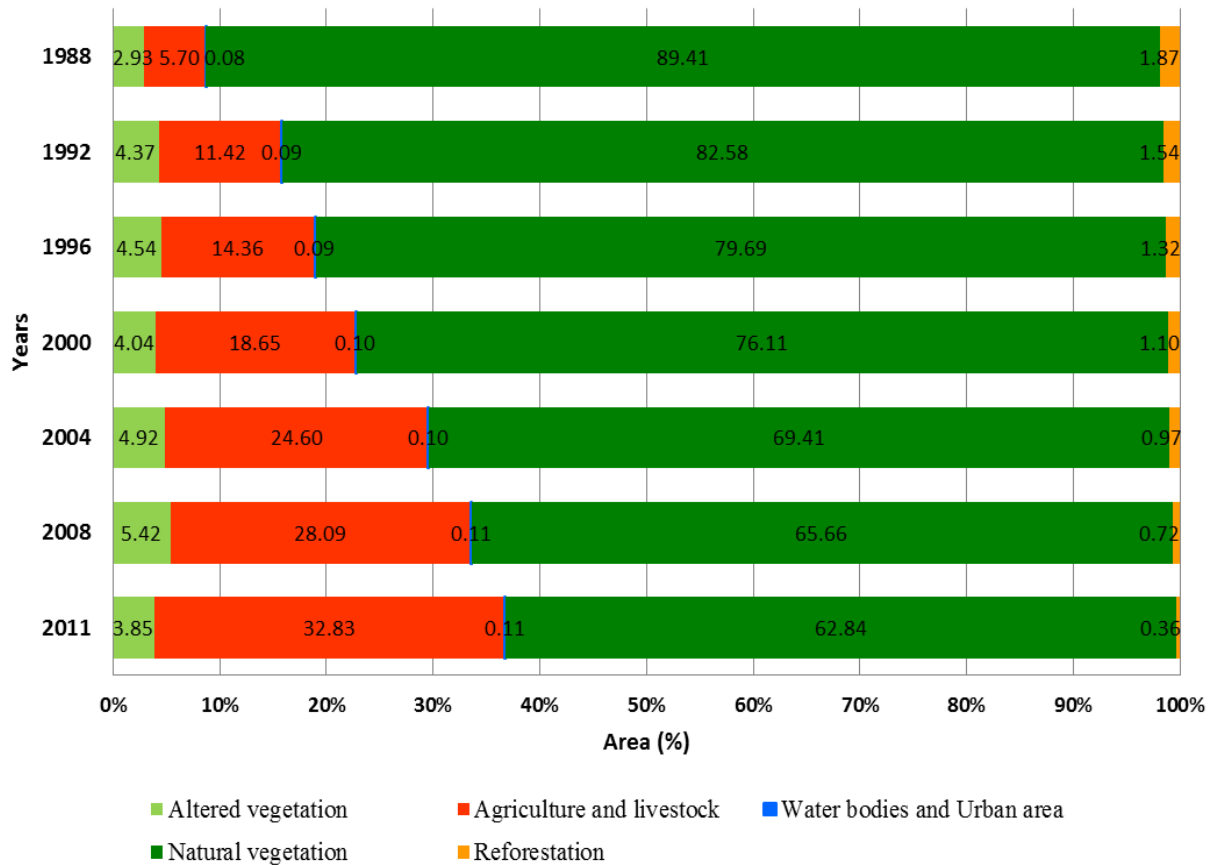
Traditional landscape metrics over the years studied enabled the identification of habitat fragmentation and landscape change at the general level. Cross tabulations between MSPA-image pairs at successive dates and of the two extreme dates (1988 and 2011) were carried out using Abílio software. The result for each cross-tabulation consists of an image and a table. The cross-tabulation image has a number of classes matching the number of existing categorical combinations between two time periods. Therefore, cross-tabulation images indicate both where and when these disturbances took place. The cross-tabulation table, also known as the contingency table, provides an estimate of the total amount of changes. The columns and rows of the matrix show the morphological categories of two time periods for the same study area. The diagonal elements of table are invariant areas, while the others are changed areas.

## **3.3 - RESULTS**

### ***3.3.1 - Multitemporal analysis of the LULC classes***

LULC classes showed variation in the analyzed period (**Fig. 3.3**). Deforestation distribution pattern in the study area during the period 1988-2011 began along the western region and gradually moved eastward. The climatic conditions of western part with highest

rainfall favored rainfed plantations (**Fig. 3.2c**), which do not depend on additional costs for irrigation.



**Fig. 3.3** - Area percentage of land-use/land-cover classes in the study area during the period 1988-2011.

The natural vegetation area was reduced in 26.57%, ranging from 89.41% in 1988 to 62.84% in 2011, i.e. an average deforestation rate of nearly 1.61% or 87,355 ha year<sup>-1</sup>. The agriculture and livestock area increased 27.13%, ranging from 5.70% in 1988 to 32.83% in 2011. The altered vegetation showed irregular behavior during the study period, reaching an area of 5.42% in 2008. The reforestation area decreased 1.51%, ranging from 1.87% in 1988 to 0.36% in 2011. Proportionally urban areas and water bodies changed little over the years. Cerrado deforestation in the study area increased from 79,502.61 hectares in 1988 to 2,804,679.75 hectares in 2011. The pattern of Cerrado deforestation showed spatial concentration in the western part of the study area that gradually progressed towards the east. The annual deforestation rate over the Urucuia Group in Western Bahia is approximately 1.16% per year.

The main growth vector of agriculture begins in the central west portion and progresses to the eastern region. Another growth vector is toward the north and south limits of the study area. Because of lower rainfall in the eastern portion (**Fig. 3.2c**), plantations require greater investment in irrigation. The presence of permanent rivers and groundwater from Urucuia aquifer allowed for the growth of irrigated areas.

### ***3.3.2 - Landscape-fragmentation change detection by the traditional landscape metrics analysis***

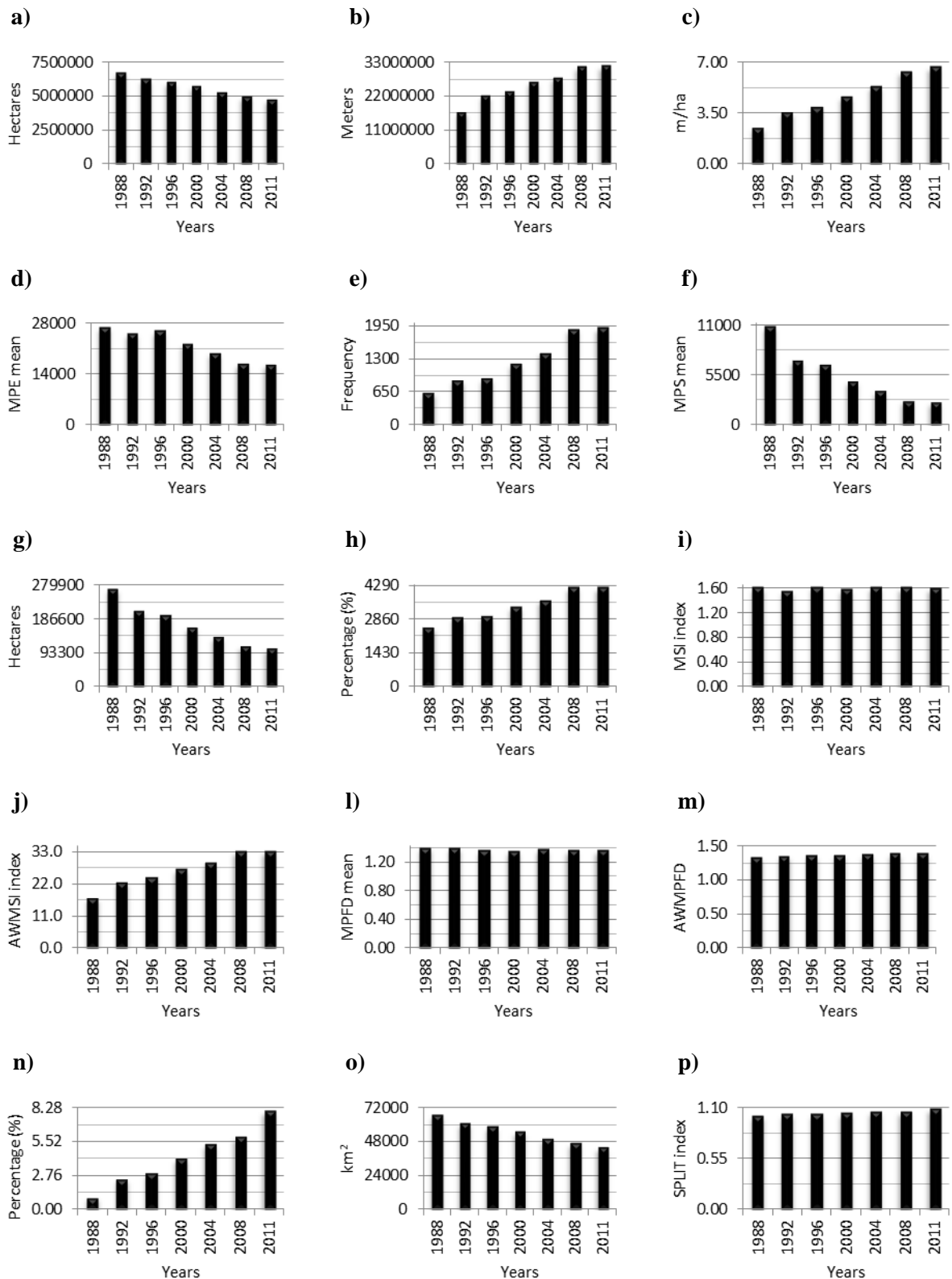
As shown in **Figure 3.4**, there was a percentage reduction for CA (26.57%), MPE (38.11%), MPS (77.06%), PSSD (61.28%), and MESH (2.31%), and an increase in landscape-metric values for TE (89.64%), ED (169.77%), NumP (206.41%), PSCoV (68.79%), AWMSI (95.13%), AWMPFD (4.37%), DIVISION (735.42%), and SPLIT (7.92%) in the period 1988-2011. The MSI and fragmentation metrics fluctuated over the studied years.

### ***3.3.3 - Landscape-fragmentation change detection by the Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA)***

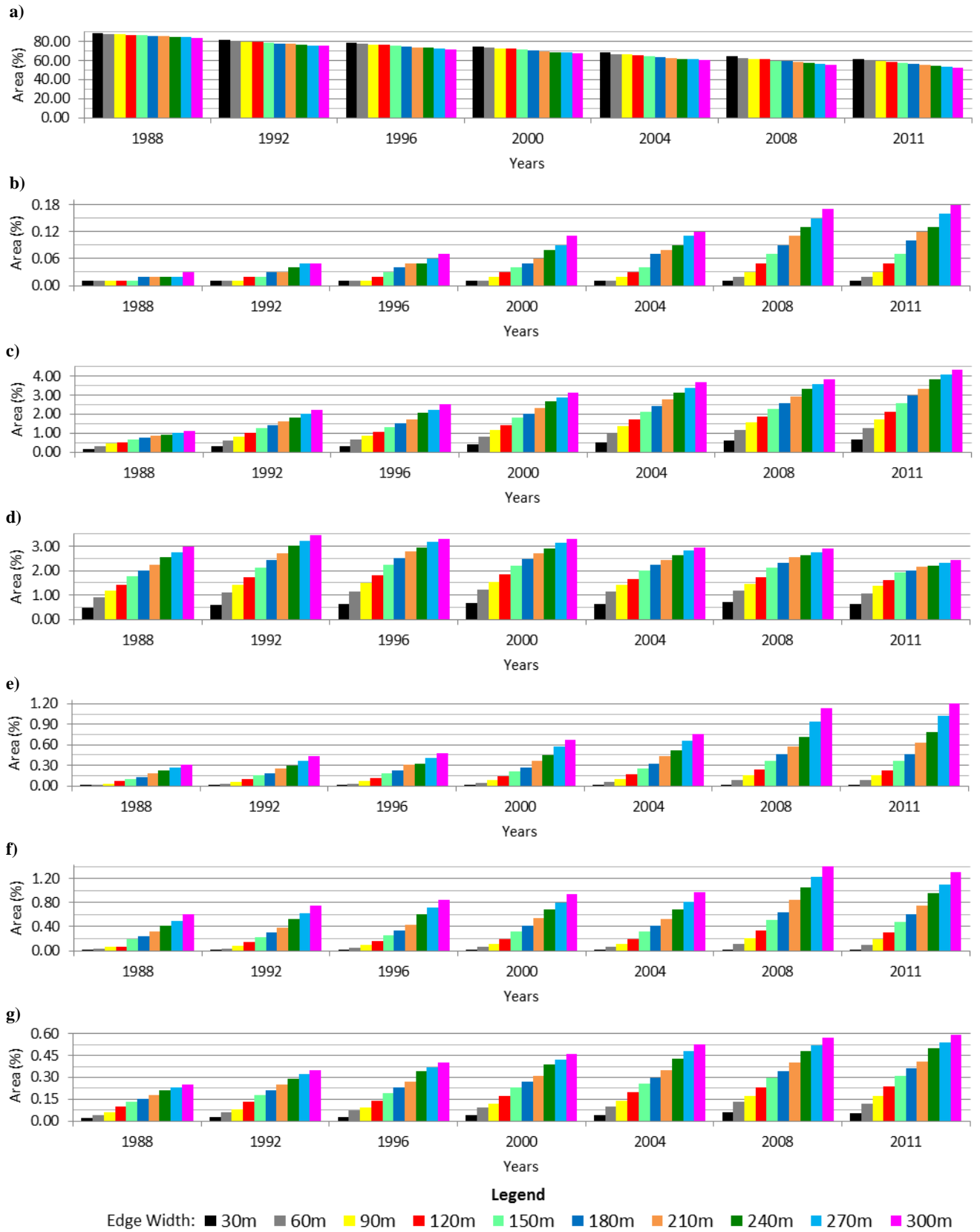
**Figure 3.5** shows the area percentage of the MSPA attributes considering ten edge widths over the studied years, while **Figure 3.6** shows patch number. Cross-tabulation showed changes detected in MSPA classes for the period 1988-2011 (**Table 3.1**).

The core class was the most representative area for all scenarios of the studied years (**Fig. 3.5**). Over time, the core class showed a reduction in total area, while the islet, edge, bridge and branch classes increased (**Fig. 3.5**). The loop class had area growth in the period 1988-2008 and a small reduction in the last period. In contrast, the perforation class had area growth in the initial period (1998-1992) and then a steady decline (**Fig. 3.5**).

Most classes (core, islet, perforation, bridge, loop and branch) had a tendency to increase the patch number in the period 1998-2008, with a decrease in the last period, while the edge class showed a tendency for steady growth over time (**Fig. 3.6**). The increase in edge width resulted in the following characteristics: (a) reduction in both the total area and patch number for core class; (b) area growth for islet, edge, perforation, bridge, loop and branch; (c) an increase in the islet patch number.

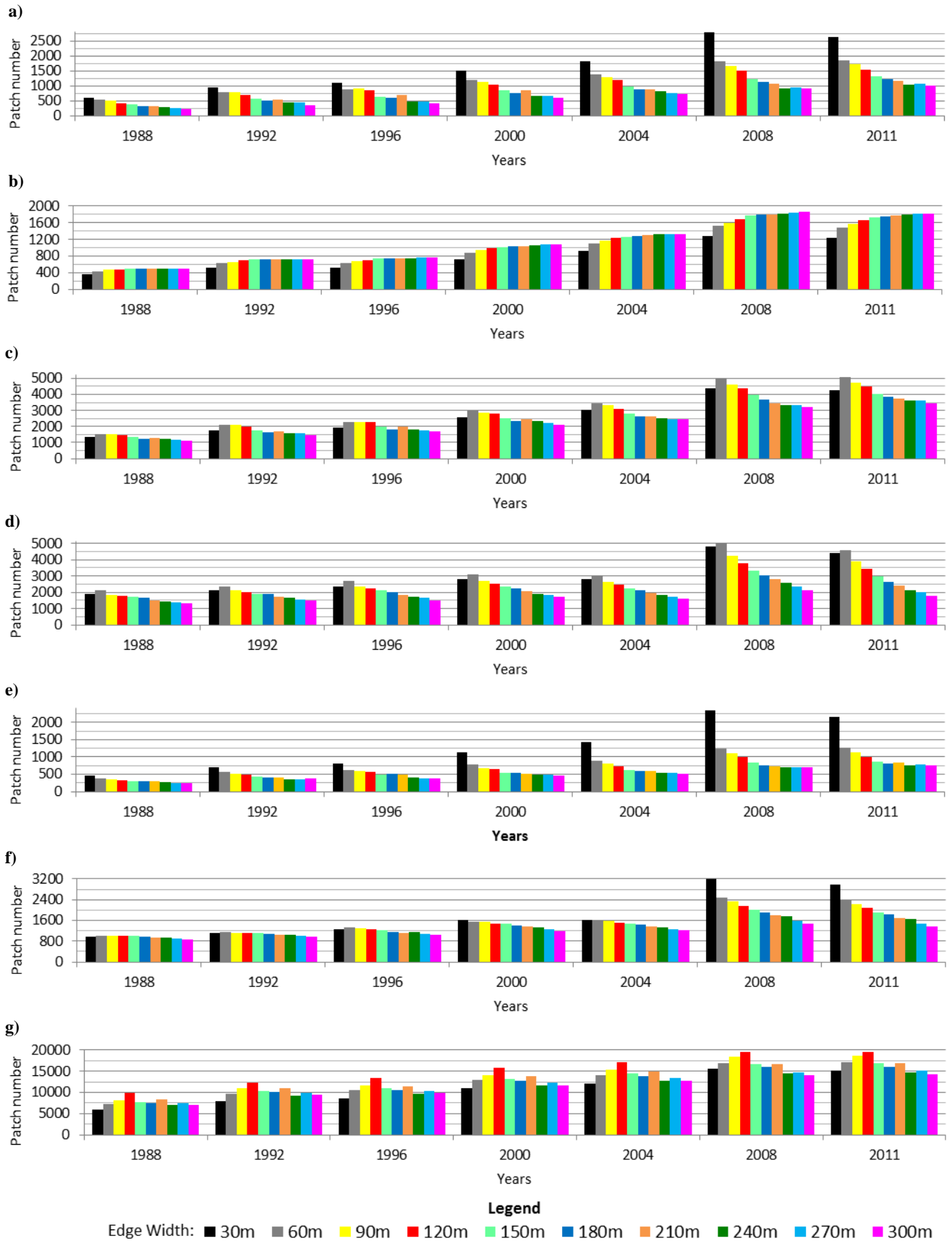


**Fig. 3.4** - Traditional landscape metrics of the study area during the period 1988-2011: (a) CA, (b) TE, (c) ED, (d) MPE, (e) NumP, (f) MPS, (g) PSSD, (h) PSCoV, (i) MSI, (j) AWMSI, (l) MPFD, (m) AWMPFD, (n) DIVISION, (o) MESH, and (p) SPLIT.



**Fig. 3.5** - Area percentage of MSPA attributes for the study area: (a) core, (b) islet, (c) edge, (d) perforation, (e) bridge, (f) loop, and (g) branch.



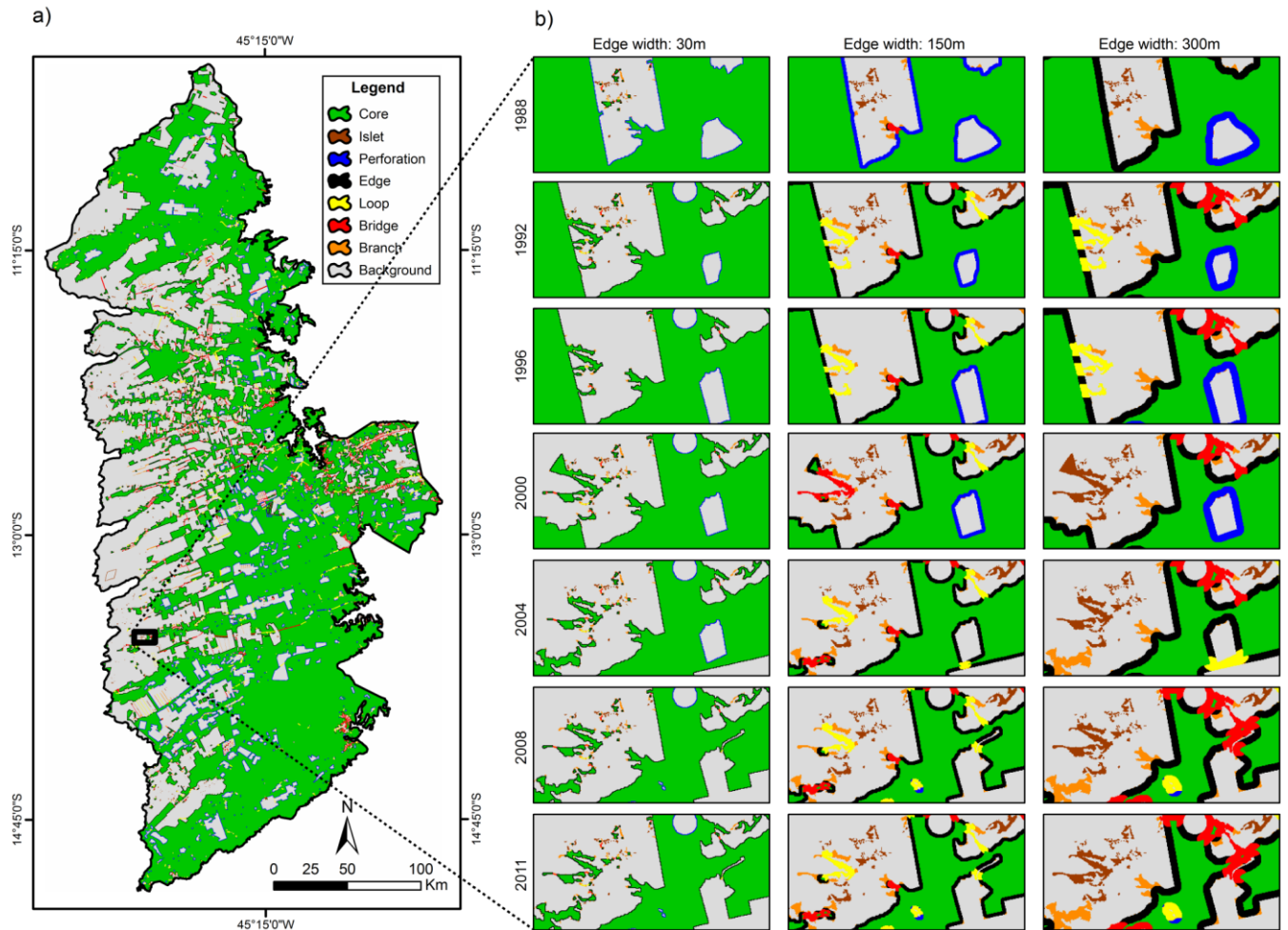


**Fig. 3.6** - Patch number of MSPA classes for study area: (a) core, (b) islet, (c) edge, (d) perforation, (e) bridge, (f) loop, and (g) branch.

**Table 3.1** shows the change matrix for the MSPA classes in the period 1988-2011. The percentage change of bridge, edge and islet classes were more than 250%, while in the core class this was over -30%. The increase in edge width of 30 meters to 150 and 300 meters significantly expanded the changes in the MSPA classes (**Table 3.1**), since the core reduced in area and the other classes increased (**Fig. 3.7**). The spatial pattern of *Cerrado* fragmentation has a spatial concentration in the western part of the study area (**Fig. 3.7**). All MSPA classes were preferentially converted to the background. **Figure 3.8** shows an exemplification of changes in morphological classes.

**Table 3.1** - Change detection of MSPA classes and background (in hectares) between 1988 and 2011 in Western Bahia, Brazil.

Edge width		1988 year (hectares)								Class Total (2011)	
		Background	Branch	Bridge	Core	Edge	Islet	Loop	Perforation		
2011 year (hectares)	Background	30 meters	677459.88	481.32	133.38	2102747.94	7338.78	39.06	98.19	16365.87	2804664.24
		150 meters	677459.88	4473.09	2008.26	2025555.84	28381.50	316.71	3912.39	62556.48	2804664.24
		300 meters	677459.88	10023.48	6628.77	1944601.74	49937.94	898.83	12423.33	102691.17	2804664.24
	Branch	30 meters	368.37	620.91	22.05	2511.90	131.94	5.67	11.07	206.01	3877.92
		150 meters	1704.51	3391.02	544.95	14096.52	1094.13	58.77	450.54	1740.06	23080.50
		300 meters	2627.91	4651.65	1209.96	27573.48	2096.10	73.53	1989.72	4720.32	44942.67
	Bridge	30 meters	124.47	15.93	128.97	1050.48	48.15	0.00	25.74	81.09	1474.83
		150 meters	1434.87	283.05	3479.40	17359.02	1159.83	1.44	1211.76	2147.85	27077.22
		300 meters	4019.31	903.06	10905.12	55002.78	4321.98	15.30	7792.92	8253.18	91213.65
	Core	30 meters	111973.68	131.22	23.76	4529403.00	1353.51	7.29	47.79	6375.51	4649315.76
		150 meters	99174.24	557.82	643.23	4198906.80	4235.67	17.64	927.99	20467.62	4324930.56
		300 meters	89846.19	1095.57	1586.79	3862290.96	5982.75	75.78	2459.70	30499.92	3993838.56
	Edge	30 meters	3142.35	44.73	22.32	38340.00	3694.86	5.67	11.34	3790.35	49051.62
		150 meters	8422.83	408.06	471.60	151121.88	11951.55	21.51	677.52	20128.77	193203.72
		300 meters	11265.84	730.44	1295.64	256389.93	17641.35	19.80	3136.68	39455.46	329935.14
	Islet	30 meters	99.18	23.58	2.61	352.44	21.69	111.42	0.63	19.53	631.08
		150 meters	598.68	306.09	96.66	3165.66	188.28	604.80	190.44	167.04	5317.65
		300 meters	1369.62	590.94	278.46	8962.02	558.18	1008.18	452.25	625.77	13845.42
	Loop	30 meters	131.04	8.10	12.24	1190.97	23.22	0.00	220.14	68.76	1654.47
		150 meters	1815.30	301.05	577.08	23676.03	1070.19	26.01	6420.60	2656.08	36542.34
		300 meters	3433.77	622.26	1397.43	65998.44	2805.03	34.38	15886.62	7814.97	97992.90
	Perforation	30 meters	2158.65	30.51	7.56	38386.89	146.25	3.15	19.17	8349.03	49101.21
		150 meters	4847.31	161.91	83.07	114837.75	300.42	6.12	399.24	24318.81	144954.63
		300 meters	5435.10	200.88	16.92	144087.48	226.35	6.66	1060.38	32311.17	183344.94
Class Total (1988)	30 meters	795457.62	1356.30	352.89	6713983.44	12758.40	172.26	434.07	35256.15	-	
	150 meters	795457.62	9882.09	7904.25	6548719.68	48381.57	1053.00	14190.48	134182.71	-	
	300 meters	795457.62	18818.28	23319.09	6364906.56	83569.68	2132.46	45201.60	226371.96	-	
Class Changes (1988-2011)	30 meters	117997.74	735.39	223.92	2184580.44	9063.54	60.84	213.93	26907.12	-	
	150 meters	117997.74	6491.07	4424.85	2349812.88	36430.02	448.20	7769.88	109863.90	-	
	300 meters	117997.74	14166.63	12413.97	2502615.60	65928.33	1124.28	29314.98	194060.79	-	
Image difference (hectares)	30 meters	2009206.62	2521.62	1121.94	-2064667.68	36293.22	458.82	1220.40	13845.06	-	
	150 meters	2009206.62	13198.41	19172.97	-2223789.12	144822.15	4264.65	22351.86	10771.92	-	
	300 meters	2009206.62	26124.39	67894.56	-2371068.00	246365.46	11712.96	52791.30	-43027.02	-	
Percentage change (%)	30 meters	252.58	185.92	317.93	-30.75	284.47	266.35	281.15	39.27	-	
	150 meters	252.58	133.56	242.57	-33.96	299.33	405.00	157.51	8.03	-	
	300 meters	252.58	138.82	291.15	-37.25	294.80	549.27	116.79	-19.01	-	

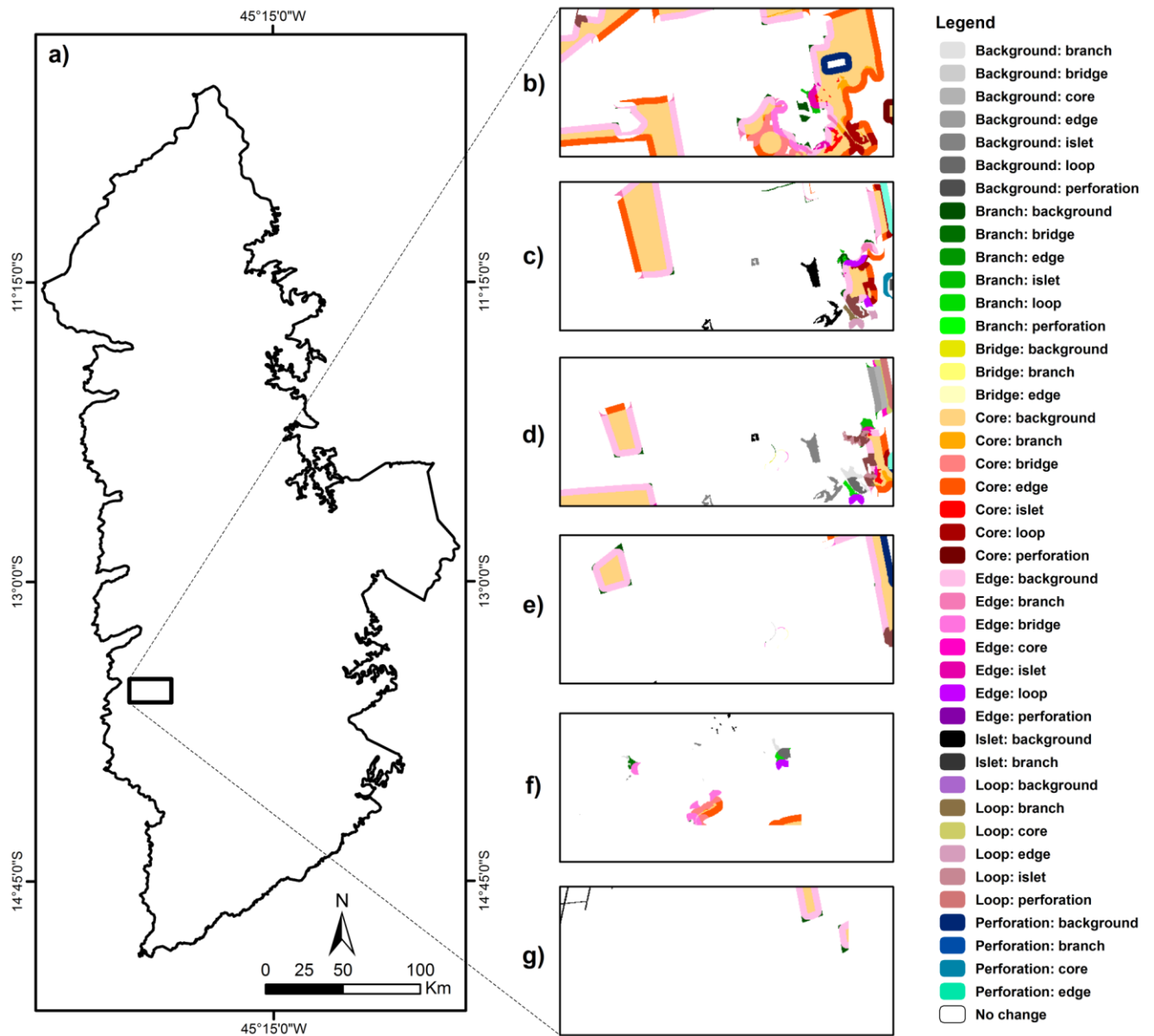


**Fig. 3.7** - Effect of edge width variation in MSPA classes: (a) MSPA classes for 2011 with edge width of 300m; (b) detail of the MSPA class for all years and edge width of 30m, 150m and 300m.

### 3.4 - DISCUSSION

The visual interpretation technique used in this study to facilitate the change detection has the following advantages (Coppin et al. 2004; Narumalani et al. 2004; Menke et al. 2009): a) easy updating over time, which favors monitoring; b) minimizes the error propagation for image coregistration; c) minimizes the misclassification derived from atmospheric variations, salt and pepper noise (i.e., a type of impulse noise caused by error in image acquisition and/or recording, where individual pixels in digital image are randomly digitized into two extreme intensities, maximum and minimum) (Toh and Isa 2010), phenological changes, and soil moisture; d) allows integration and comparison of sensor images with different spatial, spectral, temporal and radiometric resolutions. The main disadvantages include: a) lack of automation; b) the classification accuracy depends on user

experience; c) application over large areas may require a long time and involvement of many people.



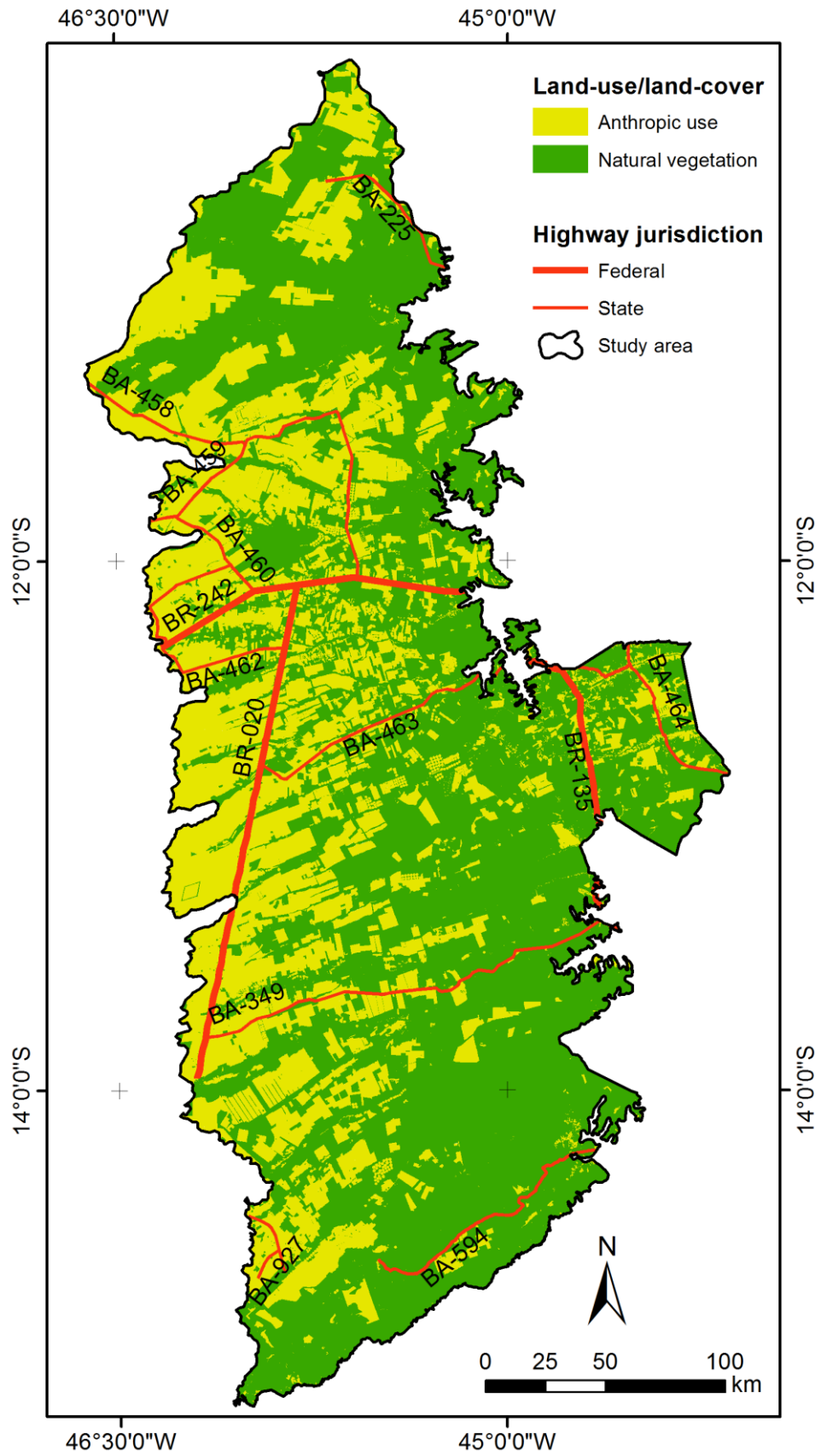
**Fig. 3.8** - Exemplification of change detection in the MSPA classes (edge width of 300m): a) area location map; b) cross-tabulation image between 1988-1992; c) 1992-1996; d) 1996-2000; e) 2000-2004; f) 2004-2008; and g) 2008-2011.

The evolution of land use in western Bahia has occurred rapidly in recent decades. In 1992, the agricultural sector represented 11.42% of the study area (863,327.30 ha) and was concentrated in the mid-west portion. Brazil's agricultural policy enacted in 1991, which extended credit lines and established harvest plans (Brasil 1991), stimulated the agricultural sector. In 2000 and 2001, the government of Bahia created programs to support the agribusiness, especially for cotton and coffee. Other political factors also contributed to this

expansion, such as government incentives for the development of new techniques for soil fertility correction, tax incentives for agricultural modernization, and government funding for irrigation programs (Flores et al. 2012; Spagnolo et al. 2012; Oliveira et al. 2014). The combination of these factors promoted an intense migration from all areas of southern Brazil to the Western Bahia region, promoting rapid agricultural frontier expansion (Brannstrom and Brandão 2012) and consequently landscape fragmentation. Therefore, there was a breakthrough especially for the eastern portions at a rate of 7.23% (546,572.36 ha) from 1992 to 2000 and 14.19% (1,072,733.31 ha) 2000-2011. The annual deforestation rate over the Urucua Group in Western Bahia (approximately 1.16% per year) is higher than the 0.6% per year registered for the Brazilian *Cerrado* Biome as a whole in the period 2002-2010 (MMA-IBAMA 2011). This expansion is the result of favorable environmental conditions for mechanization, rainfall at regular intervals, and water availability for irrigation projects (Menke et al. 2009). Farms are usually large with over 1,000 ha, where several properties exceed 5,000 ha (Brannstrom 2009). However, natural vegetation areas remain in the eastern portion of the study area, where annual rainfall is lower.

The deforestation pattern of the Western Bahia region is different from the Amazon agricultural frontier, which has been extensively studied. In the Amazon, agriculture growth occurs through conversion of already deforested land, mostly under degraded pasture (Brown et al. 2005; Barona et al. 2010), or by direct conversion of forest to cropland (Carvalho et al. 2002; Fearnside 2005; Morton et al. 2006). In Western Bahia, the agricultural practice was predominantly livestock and originated essentially by the conversion of natural vegetation to cropland, contemplating large areas in a short period. According to Hessel et al. (2012), the municipality of Cocos presents an initial deforestation associated with coal producers followed by a subdivision of the land in tranches by orthogonal feeder roads. In this scenario, the spatial occupation of agriculture and livestock occurs initially interspersed in the landscape and progresses to continuous areas.

The deforestation rates in Western Bahia region are closely related to the occurrence of highways, as described for the Amazon agricultural frontier (Fearnside and de Alencastro Graça 2006; Fearnside 2006; Fearnside 2007; Barber et al. 2014). In the study area, the federal highways BR-020 and BR-242 have great influence for agricultural development. The regions just west of the BR-020 highway, containing higher rainfall, were the first to be occupied and are now entirely dominated by agricultural landscape (**Fig. 3.9**).



**Fig. 3.9** - Map of the main highways of the area of study, containing areas of natural vegetation and anthropic use in 2011.

The two landscape indicators (traditional landscape metrics analysis and morphological spatial pattern analysis) used allowed for an analysis of fragmentation-change detection in both global and local (pixel-by-pixel) scales. Except for the MSI and MPFD metrics that showed fluctuations in the historical series, the traditional landscape metrics appointed two changing patterns: (a) continuous reduction in the value of CA, MPE, MPS, PSSD, and MESH; and (b) continuous increase in the values of TE, ED, NumP, PSCoV, AWMSI, AWMPFD, DIVISION, and SPLIT. These changing patterns are typical for areas with progressive fragmentation increase (e.g. Jaeger 2000; Su et al. 2014; Liu et al. 2014; Liu and Yang 2015; Walz 2015). The main implications of the changes were: (a) decrease in sizes and area of patches; (b) increase in irregularity, complexity, size variation and number of patches; (c) reduction in the size of the average edge; and (d) increase in total edge and edge density. MSPA results reveal the fragmentation growth by reduction of core area and by increase in patch number of core, islet, branch and edge, as also described in the other fragmented areas (e.g. Kang and Choi 2014). The increase in edge width reduced the core fraction and increased the area of the other MSPA components. The core class gradually became concentrated in the eastern part of the study area due to agricultural expansion, which initially occurred sparsely in the landscape and, over time, progressed to continuous areas without natural areas preserved in their interior. This occupation pattern occurs mainly in flat areas in the western part of the study area, where the remaining vegetation is concentrated along the rivers in areas protected by law.

Both procedures showed an increase in the vegetation fragmentation in the study area. The fragmentation of natural vegetation has severe implications for landscape dynamics. In the *Cerrado* Biome, the loss of vegetation cover can increase soil erosion up to 20% (Merten and Minella 2013) and cause damage to endemic species (Ratter et al. 1997). Furthermore, fragmentation can also act as a barrier to the movement of wildlife (Mortelliti et al. 2014), interfere with pollination levels and seed production (Hadley and Betts 2012), reduce the connectivity of habitats (Liu et al. 2014), alter the natural ecosystem processes (Hobbs 1993), reduce species diversity (Ma et al. 2013), increase mortality of species (Riley et al. 2003), and increase patch isolation (Fahrig 2003).

With the prospect of further expansion of mechanized agriculture in Western Bahia, guidelines are necessary to promote environmental conservation, especially through legislation for the protected area and improved agricultural practices (Silva and Bates 2002; Klink and Machado 2005; Grecchi et al. 2014). In Brazil, the National Forest Act (NFA) (Brasil 1965; Brasil 2012a,b) is an important policy for ecosystem conservation, establishing:

(a) Permanent Preservation Areas (PPA), ecologically sensitive areas designed to mandatory conservation; and (b) Legal Reserves (LR), minimum farm percentage of native vegetation that the landowner should preserve, specifically for the *Cerrado* this value is 20% of the area. The NFA is the main strategy for environmental conservation in the Brazil, having a great influence over land use (Metzger et al. 2010; Sparovek et al. 2012). In Western Bahia on Urucuia Group, PPAs are important areas with remaining natural vegetation. Gurgel et al. (2013) analyzed the PPAs of the municipality of Riachão das Neves and found that areas with mechanized agriculture on the plateaus of Urucuia Group showed 5.5% of inappropriate uses in 2008, which is low compared the depression areas on Bambuí Group with 26.5%. However, only the PPAs are not sufficient to maintain biodiversity and ecosystem services. The new Brazilian Forest Code (Brazil 2012a,b) allowed for the compensation of legal reserves in the same biome, jeopardizing the maintenance of LRs in the study area due to the high economic value of land for mechanized agriculture. Future research should assess the impact of the agricultural expansion over riparian vegetation and protected areas, and propose ecological corridors at local and regional scales. The expansion of preserved areas can contribute to the maintenance of local biodiversity and recharge zone of the Urucuia aquifer (Silva et al. 2006; Gaspar et al. 2012).

### 3.5 - CONCLUSIONS

The present study used two groups of fragmentation metrics (morphological spatial pattern analysis and traditional landscape metrics analysis), considering a multi-temporal approach. The results contribute to the understanding of progressive agricultural expansion over the natural savanna in Central Brazil. Both types of metric demonstrate significant alterations in the composition, structure and diversity of the landscape due to agriculture use over the last two decades. The effects of fragmentation over time are evidenced by the reduction in area, number of patches, core and edge, as well as the increase of complexity, size variation, and coreless fragments. Therefore, the conversion of natural vegetation into cropland areas is the most relevant landscape transformation in Western Bahia with negative consequences on the functioning ecosystem. The cross-tabulation between the temporal-map pairs from Morphological Spatial Pattern Analysis allows the detection of fragmentation-change in the remaining vegetation. This approach quantifies the fragmentation changes both in the landscape and in the morphological classes (on the fraction of habitat). The spatiotemporal variations obtained by this approach can help define strategies for landscape



planning and decision making on conservation priorities. Furthermore, this methodology permits a constant updating of the fragmentation dynamics.

## REFERENCES

- Andr n H (1994) Effects of Habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: A review. *Oikos* 71(3):355-366. doi: 10.2307/3545823
- Ardli ER, Wolff M (2009) Land use and land cover change affecting habitat distribution in the Segara Anakan lagoon, Java, Indonesia. *Reg Environ Change* 9:235-243. doi: 10.1007/s10113-008-0072-6
- Barber CP, Cochrane MA, Souza Jr CM, Laurance WF (2014) Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological Conservation* 177:203-209. doi: 10.1016/j.biocon.2014.07.004
- Barona E, Ramankutty N, Hyman G., Coomes OT (2010) The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters* 5(2):024002. doi: 10.1088/1748-9326/5/2/024002
- Brannstrom C (2005) Environmental policy reform on north-eastern Brazil's agricultural frontier. *Geoforum* 36(2):257-271. doi: 10.1016/j.geoforum.2004.06.002
- Brannstrom C (2009) South America's Neoliberal Agricultural Frontiers: Places of Environmental Sacrifice or Conservation Opportunity. *Ambio* 38(3):141-149. doi: 10.1579/0044-7447-38.3.141
- Brannstrom C, Brandão PRB (2012) Two hundred hectares of good business: Brazilian agriculture in a themed space. *Geogr Rev* 102(4):465-485. doi:10.1111/j.1931-0846.2012.00170.x
- Brannstrom C, Jepson W, Filippi AM, Redo D, Xu Z, Ganesh S (2008) Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986–2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. *Land Use Policy* 25(4):579-595. doi: 10.1016/j.landusepol.2007.11.008
- Brasil (1965) Lei no. 4.771 de 15 de setembro de 1965, <http://www.planalto.gov.br> [www document].
- Brasil (2001) Lei no. 8.171 de 17 de janeiro de 2001, <http://www.planalto.gov.br> [www document].

- Brasil (2012a) Lei no. 12.651 de 25 de maio de 2012, <http://www.planalto.gov.br> [www document].
- Brasil (2012b) Lei no. 12.727 de 17 de outubro de 2012, <http://www.planalto.gov.br> [www document].
- Brown JC, Koeppe M, Coles B, Price KP (2005) Soybean production and conversion of tropical forest in the Brazilian Amazon: the case of Vilhena, Rondônia. *Ambio* 34:462–9. doi: 10.1579/0044-7447-34.6.462
- Campos JEG, Dardenne MA (1997a) Estratigrafia e sedimentação da bacia Sanfranciscana: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências* 27(3):269-282.
- Campos JEG, Dardenne MA (1997b) Origem e evolução tectônica da bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, 27(3):283-294.
- Cao YK, Fu MC, Xie MM, Gao Y, Yao SY (2015) Landscape connectivity dynamics of urban green landscape based on morphological spatial pattern analysis (MSPA) and linear spectral mixture model (LSMM) in Shenzhen. *Acta Ecol Sin* 35(2):526-536. doi: 10.5846/stxb201306101563
- Carmel Y, Dean DJ, Flather CH (2001). Combining location and classification error sources for estimating multi-temporal database accuracy. *Photogramm Eng Remote Sens* 67(7):865-872.
- Carvalho FMV, Marco Júnior P, Ferreira LG (2009) The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biol Conserv* 142(7):1392-1403. doi: 10.1016/j.biocon.2009.01.031
- Carvalho GO, Nepstad D, McGrath D, Vera Diaz MC, Barros AC (2002) Frontier expansion in the Amazon: balancing development and sustainability. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* 44 32-42. doi: 10.1080/00139150209605606.
- Castro ER, Teixeira EC (2012) Rural credit and agricultural supply in Brazil. *Agricultural Economics* 43(3):293-302. doi: 10.1111/j.1574-0862.2012.00583.x
- Coppin P, Jonckheere I, Nackaerts K, Muys B, Lambin E (2004) Review article digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *Int J Remote Sens* 25(9):1565-1596. doi: 10.1080/0143116031000101675

- Dai X, Khorram S (1998) The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 36(5):1566-1577. doi: 10.1109/36.718860
- de Groot R (2006) Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landsc Urban Plan* 75:175-186. doi: 10.1016/j.landurbplan.2005.02.016
- Fahrig L (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 34:487–515. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419
- Fan C, Myint S (2014) A comparison of spatial autocorrelation indices and landscape metrics in measuring urban landscape fragmentation. *Landsc Urban Plan* 121:117-128. doi: 10.1016/j.landurbplan.2013.10.002
- Fearnside PF (2006) Containing destruction from Brazil's Amazon highways: now is the time to give weight to the environment in decision-making. *Environmental Conservation*, 33(03), 181-183. doi: 10.1017/S0376892906003109
- Fearnside PM (2005) Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation biology*, 19(3):680-688. doi: 10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x
- Fearnside PM (2007). Brazil's Cuiabá-Santarém (BR-163) Highway: the environmental cost of paving a soybean corridor through the Amazon. *Environmental management*, 39(5), 601-614. doi: 10.1007/s00267-006-0149-2
- Fearnside PM, de Alencastro Graça PML (2006) BR-319: Brazil's Manaus-Porto Velho Highway and the potential impact of linking the arc of deforestation to central Amazonia. *Environmental Management*, 38(5), 705-716. doi: 10.1007/s00267-005-0295-y
- Felfili JM, Silva-Júnior MC (eds.) 2001 *Biogeografia do Bioma Cerrado: Estudo fitofisionômico na Chapada do Espigão Mestre do São Francisco*. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. 152p.
- Flores PM, Guimarães RF, Carvalho Júnior OA, Gomes RAT (2012) Análise multitemporal da expansão agrícola no município de Barreiras - Bahia (1988 - 2008). *Campo - Território* 7(14):1-19.
- Gaspar MTP, Campos JEG, Moraes RAV (2012) Determinação das espessuras do Sistema Aquífero Urucuia a partir de estudo geofísico. *Revista Brasileira de Geociências* 42(1):154-166. doi: 10.5327/Z0375-75362012000500013

- Grecchi RC, Gwyn QHJ, Bénié GB, Formaggio AR, Fahl FC (2014) Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: A multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. *Appl Geogr* 55:300-312. doi: 10.1016/j.apgeog.2014.09.014
- Gurgel RS, Carvalho Júnior, OA, Gomes RAT, Guimaraes RF, Martins ES (2013) Relação entre a evolução do uso da terra com as unidades geomorfológicas no município de Riachão das Neves (BA). *GeoTextos* 9(1):177-201.
- Hadley AS, Betts MG (2012) The effects of landscape fragmentation on pollination dynamics: absence of evidence not evidence of absence. *Biol Rev* 87:526-544. doi: 10.1111/j.1469-185X.2011.00205.x
- Hessel FO, Carvalho Junior OA, Gomes RAT, Martins ES, Guimarães RF (2012). Dinâmica e sucessão dos padrões da paisagem agrícola no município de Cocos (Bahia). *RAE GA*, 26, 128-156. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v26i0.30153>
- Hobbs RJ (1993) Effects of landscape fragmentation on ecosystem processes in the Western Australian Wheatbelt. *Biol Conserv* 64(3):193-201. doi: 10.1016/0006-3207(93)90321-Q
- Höbinger T, Schindler S, Seaman BS, Wrba T, Weissenhofer A (2012) Impact of oil palm plantations on the structure of the agroforestry mosaic of La Gamba, southern Costa Rica: potential implications for biodiversity. *Agroforest Syst* 85:367-381. doi: 10.1007/s10457-011-9425-0
- Howarth PJ, Wickware GM (1981) Procedures for change detection using Landsat digital data. *Int J Remote Sens* 2(3):277-291. doi: 10.1080/01431168108948362
- Jaeger JAG (2000) Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landsc Ecol* 15(2):115-130. doi: 10.1023/A:1008129329289
- Jepson W (2006) Private agricultural colonization on a Brazilian frontier, 1970-1980. *J Hist Geogr* 32(4):839-863. doi: 10.1016/j.jhg.2004.12.019
- Jepson W, Brannstrom C, Filippi A (2010) Access Regimes and Regional Land Change in the Brazilian Cerrado, 1972–2002. *Ann Assoc Am Geogr* 100(1):87-111.
- Kang S, Choi W (2014) Forest cover changes in North Korea since the 1980s. *Reg Environ Change* 14(1):347-354. doi: 10.1007/s10113-013-0497-4
- Kang S, Kim JO (2015) Morphological analysis of green infrastructure in the Seoul metropolitan area, South Korea. *Landscape Ecol Eng*. doi: 10.1007/s11355-014-0268-5

- Ke C-Q, Zhang D, Wang F-Q, Chen S-X, Schullius C, Boerner W-M, Wang H (2011) Analyzing coastal wetland change in the Yancheng National Nature Reserve, China. *Reg Environ Change* 11:161–173. doi 10.1007/s10113-010-0130-8
- Klink CA, Machado RB (2005) Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conserv Biol* 19(3):707-713. doi: 10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x
- Lang S, Tiede D (2003) vLATE Extension für ArcGIS - vektorbasiertes Tool zur quantitative Landschaftsstrukturanalyse.  
<http://downloads2.esri.com/campus/uploads/library/pdfs/68464.pdf>. Accessed 30 June 2015
- Liu S, Dong Y, Deng L, Liu Q, Zhao H, Dong S (2014) Forest fragmentation and landscape connectivity change associated with road network extension and city expansion: A case study in the Lancang River Valley. *Ecol Indic* 36:160-168. doi: 10.1016/j.ecolind.2013.07.018
- Liu T, Yang X (2015) Monitoring land changes in an urban area using satellite imagery, GIS and landscape metrics. *Appl Geogr* 56:42-54. doi: 10.1016/j.apgeog.2014.10.002
- Ma M, Hietala R, Kuussaari M, Helenius J (2013) Impacts of edge density of field patches on plant species richness and community turnover among margin habitats in agricultural landscapes. *Ecol Indic* 31:25-34. doi: 10.1016/j.ecolind.2012.07.012
- Mascorro VS, Coops NC, Kurz WA, Olguín M (2014) Attributing changes in land cover using independent disturbance datasets: a case study of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Reg Environ Change*. doi:10.1007/s10113-014-0739-0
- McGarigal K, Marks BJ (1995) FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA forest service general technical report PNW-GTR-351. Pacific Northwest Research Station, Portland.
- McGarigal K, Tagil S, Cushman SA (2009) Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecol* 24(3):433-450. doi: 10.1007/s10980-009-9327-y
- Menke AB, Carvalho Júnior OA, Gomes RAT, Martins ES, Oliveira SN (2009) Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luís Eduardo Magalhães (BA - Brasil). *Soc Nat* 21(3):315-326.

- Merten GH, Minella JPG (2013) The expansion of Brazilian agriculture: Soil erosion scenarios. *Int Soil Water Consort Res* 1(3):37-48. doi: 10.1016/S2095-6339(15)30029-0
- Metzger JP, Lewinsohn TM, Joly CA, Verdade LM, Martinelli LA, Rodrigues RR (2010) Brazilian Law: full speed in reverse? *Science* 329(5989):276-277. doi: 10.1126/science.329.5989.276-b
- MMA-IBAMA (2011) Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por Satélite. Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA. Monitoramento do Bioma Cerrado: 2009-2010.  
[http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO%20FINAL\\_CERRADO\\_2010.pdf](http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO%20FINAL_CERRADO_2010.pdf). Accessed 30 June 2015
- Mortelliti A, Westgate MJ, Lindenmayer DB (2014) Experimental evaluation shows limited influence of pine plantations on the connectivity of highly fragmented bird populations. *J Appl Ecol* 51(5):1179-1187. doi: 10.1111/1365-2664.12313
- Morton, DC, DeFries RS, Shimabukuro YE, Anderson LO, Arai E, del Bon Espirito-Santo F, Freitas R, Morissette J (2006) Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(39):14637-14641. doi: 10.1073/pnas.0606377103
- Munshi M, Malaviya S, Oinam G, Joshi PK (2010) A landscape approach for quantifying land-use and land-cover change (1976–2006) in middle Himalaya. *Reg Environ Change* 10(2):145-155. doi: 10.1007/s10113-009-0101-0
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GAB, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858. doi: 10.1038/35002501
- Narumalani S, Mishra DR, Rothwell RG (2004) Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area. *Remote Sens Environ* 91:478-489. doi: 10.1016/j.rse.2004.04.008
- Oliveira SN, Carvalho Júnior OA, Gomes RAT, Guimarães RF, Martins ES (2014) Detecção de mudança do uso e cobertura da terra usando o método de pós-classificação na fronteira agrícola do Oeste da Bahia sobre o Grupo Urucuia durante o período 1988-2011. *Revista Brasileira de Cartografia* 66(5):1157-1176.
- Ostapowicz K, Estreguil C, Kozak J, Vogt P (2006) Assessing forest fragmentation and connectivity: a case study in the Carpathians. *Proc SPIE* 6366. doi: 10.1117/12.689573

- Rada N (2013) Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle. *Food Policy* 38:146-155. doi: 10.1016/j.foodpol.2012.11.002
- Ratter JA, Ribeiro JF, Bridgewater S (1997) The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Ann Botany* 80:223-230. doi: 10.1006/anbo.1997.0469
- Rempel RS, Kaukinen D, Carr AP (2012) Patch Analyst and Patch Grid. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario.
- Riley SPD, Sauvajot RM, Fuller TK, York EC, Kamradt DA, Bromley C, Wayne RK (2003) Effects of urbanization and habitat fragmentation on bobcats and coyotes in southern California. *Conserv Biol* 17(2):566-576. doi: 10.1046/j.1523-1739.2003.01458.x
- Rozenstein O, Karnieli A (2011) Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs. *Appl Geogr* 31(2):533-544. doi: 10.1016/j.apgeog.2010.11.006
- Salvati L (2014) Agro-forest landscape and the 'fringe' city: A multivariate assessment of land-use changes in a sprawling region and implications for planning. *Sci Total Environ* 490:715-723. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.05.080
- Salvati L, Moretti V, Sabbi A, Ippolito A, Ferrara A (2015) A multivariate assessment of fringe landscape dynamics in Rome, Italy, and implications for peri-urban forest conservation. *Rend Fis Acc Lincei*. doi: 10.1007/s12210-015-0401-x
- Sano EE, Rosa R, Brito JLS, Ferreira LG (2010) Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environ Monit Assess* 166:113-124. doi: 10.1007/s10661-009-0988-4
- Saunier S, Goryl P, Chander G, Santer R, Bouvet M, Collet B, Mambimba A, Aksakal SK (2010) Radiometric, geometric, and image quality assessment of ALOS AVNIR-2 and PRISM sensors. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 48(10):3855-3866. doi: 10.1109/TGRS.2010.2048714
- Saura S, Vogt P, Velázquez J, Hernando A, Tejera R (2011) Key structural forest connectors can be identified by combining landscape spatial pattern and network analyses. *Forest Ecol Manag* 262(2):150-160. doi: 10.1016/j.foreco.2011.03.017
- Seebach L, Strobl P, Vogt P, Mehl W, San-Miguel-Ayanz J (2013) Enhancing post-classification change detection through morphological post-processing – a sensitivity analysis. *Int J Remote Sens* 34(20):7145-7162. doi: 10.1080/01431161.2013.815382

- Silva JF, Fariñas MR, Felfili JM, Klink CA (2006) Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *J Biogeogr* 33(3):536-548. doi: 10.1111/j.1365-2699.2005.01422.x
- Silva JMC, Bates JM (2002) Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A tropical savanna hotspot. *BioScience* 52(3):225-233. doi: 10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2
- Singh A (1989) Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *Int J Remote Sens* 10(6):989-1003. doi: 10.1080/01431168908903939
- Soille P, Vogt P (2009) Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern Recognit Lett* 30(4):456-459. doi: 10.1016/j.patrec.2008.10.015
- Soulard CE, Sleeter BM (2012) Late twentieth century land-cover change in the basin and range ecoregions of the United States. *Reg Environ Change* 12(4):813-823. doi: 10.1007/s10113-012-0296-3
- Spagnolo TFO, Gomes RAT, Carvalho Júnior OA, Guimarães RF, Martins ES, Couto Júnior AF (2012) Dinâmica da expansão agrícola do município de São Desidério-BA entre os anos de 1984 a 2008, importante produtor nacional de soja, algodão e milho. *Geo UERJ* 2(23):603-618.
- Sparovek G, Berndes G, Barretto AGOP, Klug ILF (2012) The revision of the Brazilian Forest Act: increased deforestation or a historic step towards balancing agricultural development and nature conservation? *Environmental Science & Policy* 16:65-72. doi: 10.1016/j.envsci.2011.10.008
- Spigolon ALD, Alvarenga CJS (2002) Fácies e elementos arquiteturais resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências* 32(4):579-586.
- Stow D, Lopez A, Lippitt C, Hinton S, Weeks J (2007) Object-based classification of residential land use within Accra, Ghana based on QuickBird satellite data. *Int J Remote Sens* 28(22):5167-5173. doi: 10.1080/01431160701604703
- Su S, Xiao R, Zhang Y (2012) Multi-scale analysis of spatially varying relationships between agricultural landscape patterns and urbanization using geographically weighted regression. *Appl Geogr* 32:360-375. doi: 10.1016/j.apgeog.2011.06.005
- Su S, Yang C, Hu Y, Luo F, Wang Y (2014) Progressive landscape fragmentation in relation to cash crop cultivation. *Appl Geogr* 53:20-31. doi: 10.1016/j.apgeog.2014.06.002



- Sun J, Huang Z, Zhen Q, Southworth J, Perz S (2014) Fractally deforested landscape: Pattern and process in a tri-national Amazon frontier. *Appl Geogr* 52:204-211. doi: 10.1016/j.apgeog.2014.05.011
- Tang J, Bu K, Yang J, Zhang S, Chang L (2012) Multitemporal analysis of forest fragmentation in the upstream region of the Nenjiang River Basin, Northeast China. *Ecol Indic* 23:597-607. doi: 10.1016/j.ecolind.2012.05.012
- Toh KKV, Isa NAM (2010) Noise adaptive fuzzy switching median filter for salt-and-pepper noise reduction. *Signal Processing Letters, IEEE*, 17(3), 281-284. doi: 10.1109/LSP.2009.2038769
- Townshend JRG, Justice CO, Gurney C, McManus J (1992) The impact of misregistration on change detection. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 30:1054-1060. doi: 10.1109/36.175340
- Turner MG (1989) Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annu Rev Ecol Syst* 20:171-197. doi: 10.1146/annurev.es.20.110189.001131
- Turner MG (1990) Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landsc Ecol* 4(1):21-30. doi: 10.1007/BF02573948
- Uuemaa E, Antrop M, Roosaare J, Marja R, Mander Ü (2009) Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research. *Living Rev Landscape Res.* doi: 10.12942/lrlr-2009-1
- Vogt P, Ferrari JR, Lookingbill TR, Gardner RH, Riitters KH, Ostapowicz K (2009) Mapping functional connectivity. *Ecol Indic* 9(1):64-71. doi: 10.1016/j.ecolind.2008.01.011
- Vogt P, Riitters KH, Estreguil C, Kozak J, Wade TG, Wickham JD (2007b) Mapping spatial patterns with morphological image processing. *Landsc Ecol* 22(2):171-177. doi: 10.1007/s10980-006-9013-2
- Vogt P, Riitters KH, Iwanowski M, Estreguil C, Kozak J, Soille P (2007a) Mapping landscape corridors. *Ecol Indic* 7(2):481-488. doi: 10.1016/j.ecolind.2006.11.001
- Walz U (2015) Indicators to monitor the structural diversity of landscapes. *Ecol Model* 295:88-106. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2014.07.011
- Zaccarelli N, Li B-L, Petrosillo I, Zurlini G (2013) Order and disorder in ecological time-series: Introducing normalized spectral entropy. *Ecol Indic* 28:22-30. doi: 10.1016/j.ecolind.2011.07.008

Zuo L, Zhang Z, Zhao X, Wang X, Wu W, Yi L, Liu F (2014) Multitemporal analysis of cropland transition in a climate-sensitive area: a case study of the arid and semiarid region of northwest China. *Reg Environ Change* 14:75-89. doi: 10.1007/s10113-013-0435-5

## **CAPÍTULO 4 – DEFORESTATION ANALYSIS IN PROTECTED AREAS AND SCENARIO SIMULATION FOR STRUCTURAL CORRIDORS IN THE AGRICULTURAL FRONTIER OF WESTERN BAHIA, BRAZIL**

### **ABSTRACT**

The aim in this paper was to evaluate the spatial distribution of protected areas defined by law and their importance as structural corridors. The study area was 7,559,783.69 hectares located in Western Bahia (Northeast Brazil), restricted to the limits of the Urucua Group (Upper Cretaceous), where there is strong agribusiness growth. Currently, a major dilemma in Brazilian public policy arises from the conflicting interests of environmental conservation and food production growth. Brazilian environmental protection policies include the implantation of Protected Areas (Full Protection Units and Sustainable Use Units) and the adoption of the National Forest Act (Permanent Preservation Areas and Legal Reserves). In this context, we delimited illegal land-use in Permanent Preservation Areas (PPAs) adopting the intersection between land-use/land-cover data from PRISM/ALOS image classification for the years 2007-2010 and PPA vectors. We performed the temporal analysis in PAs considering land-use/land-cover data from Landsat TM image classification for the years 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008 and 2011. Finally, we performed a Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA) to evaluate whether PPAs alone are sufficient as structural corridors. Hypothetical scenarios were simulated to increase the potential of PPAs as structural corridors. The calculation of MSPA attributes was conducted considering 3 edge widths: 15 meters (1 pixel), 510 meters (34 pixels), and 1005 meters (67 pixels). Four scenarios were simulated, considering a gradual increase in preserved areas. The results show that illegal land use is contained within PPA and protected areas. The scenario simulations present alternatives to increase the connectivity of the fragments and ensure the maintenance of ecological and hydrological services. Rapid agricultural expansion without proper landscape planning can compromise the sustainability of ecosystem services and the recharge zone of the Urucua aquifer.

**Keywords:** deforestation, protected area, permanent preservation area, structural corridors, Western Bahia.

## 4.1 - INTRODUCTION

Brazilian agriculture has achieved high productivity levels, becoming important in the global market and contributing greatly to its economic development (Abbade, 2014; Figueiredo et al., 2012). Over the past three decades (since 1990), the farming sector has shown significant growth, doubling agricultural production volume and tripling livestock production (OECD/FAO, 2015). In 2013, Brazil reached the following production level: world's second largest agricultural exporter; together with the agri-food industries earned more than \$86 billion (36% of total exports); largest supplier of soybeans, sugar, orange juice and coffee; a major exporter of tobacco and poultry; and high production of maize, rice and beef for the domestic market (OECD/FAO, 2015). Contini et al. (2010) regard subsidized credit, science and technology development, and rural extension as the main agriculture policy instruments.

The growth of Brazilian agriculture is widely credited to expansion in the use of the Brazilian *Cerrado* or savanna (Rada, 2013). However, *Cerrado* soils require significant investment to sustain agricultural activities because of their high weathering, low fertility (deficiencies for nitrogen, phosphorus, and potassium), high acidity and proneness to degradation (Haridasan, 2008; Reatto et al., 2009). Consequently, the investment in research and technology has been the main driving force for agriculture development in the *Cerrado* region that yielded high economic returns to society (40% internal rate of return), including improving fertility and soil management as well as production of new crop and grass varieties (Ávila et al., 2010; Pereira et al., 2012). Other factors contributing to the increase of agricultural production in this region are significant export-led growth, availability of agricultural credit, reductions in government intervention and trade barriers (Chaddad and Jank, 2006). **Table 4.1** lists the main government programs for the development of Brazilian agriculture.

The success of agriculture has promoted economic growth, but has also been associated with widespread devastation of *Cerrado* ecosystems. Economic development policies have taken precedence over environmental protection policies (Martha Jr et al., 2010). The implantation of Protected Areas (PA) according to the National System of Conservation Units (NSCU) (Brasil, 2000) and the adoption of National Forest Act (NFA) (Brasil, 1965; Brasil, 2012a,b) were the main strategy for environmental conservation in the Brazil, having great influence over land use (Metzger, 2010; Metzger et al., 2010; Sparovek et al., 2012; Payés et al., 2013).

**Table 4.1** - Main government programs for the development of Brazilian agriculture. Fontes: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES (<http://www.bndes.gov.br/>). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (<http://www.agricultura.gov.br/>).

Program	Year	Government	Objective / functions
Agricultural Credit	1965	Federal	Regulates the funding, investment, commercialization and industrialization of agricultural products.
Program for Land Redistribution and Stimulation of Agroindustry in the North and Northeast (PROTERRA)	1971	Federal	Provides tax incentives to promote man's access to land.
Financial Assistance Program for Agribusiness and Agricultural Machinery Industry (PAFAI)	1971	Federal	Grants with different interest credits to enlarge the supply of inputs, machinery, tractors and implements.
Program for Development of the Northeast Agribusiness (PDAN)	1974	Federal	Provides subsidized interest rates.
Japan-Brazil Agricultural Development Cooperation Program (PRODECER)	1985	Federal	Deploys rural settlements.
Program for Financing Irrigation Equipment (PROFIR)	1982	Federal	Finances the acquisition and implementation of irrigation equipment.
National Irrigation Program (PRONI)	1986	Federal	Performs the National Irrigation Policy
Northeast Irrigation Program (PROINE)	1986	Federal	Performs the National Irrigation Policy
Brazil's agricultural policy	1991	Federal	Management of rural risk, credit and commercialization.
National Program for the Strengthening of Family Farming (PRONAF)	1996	Federal	Financing agricultural activities related to family farming.
Investment program for Bahia Agricultural Modernization (AGRINVEST)	2000	State	Promotes projects in the agricultural, agroindustrial and fishing through the granting of fiscal incentives.
Development program of Coffee Cultivation of Western Bahia (PRODECAF)	2000	State	Develops integrated actions for technical assistance, management and credit for coffee production.
Program for the Modernization of the Agricultural Machinery (MODERFROTA)	2000	Federal	Finances agricultural machinery
Incentive Program for the Culture of Cotton in the Western Region of Bahia (PROALBA)	2001	State	Provides tax incentives for cotton cultivation.
Cooperative Development Program for Adding Value to Agricultural Production (PRODECOOP)	2003	Federal	Financing the modernization of the agro-industrial complex from Brazilian cooperatives.
Incentive Program for Irrigation and Storage (MODERINFRA)	2003	Federal	Finances irrigation and storage systems.
Program for Modernization of Agriculture and Conservation of Natural Resources (MODERAGRO)	2003	Federal	Support and promote the sectors of production, processing, manufacturing, packaging and storage.
Capitalization program for Agriculture and Livestock Cooperatives (PROCAP-AGRO)	2009	Federal	Financial support for agricultural cooperatives.
Program for Reducing Emission of Greenhouse Gases in Agriculture (ABC)	2010	Federal	Financial support for reducing emissions of greenhouse gases and deforestation.
National Support Program for Medium-sized Rural Producers (PRONAMP)	2010	Federal	Extend credit to medium-sized farmers.
Program for Construction and Expansion of Storages (PCA)	2013	Federal	Financial support the construction and expansion of warehouses.
Program to Encourage Technological Innovation in Agricultural Production (INOVAGRO)	2013	Federal	Financial support for technological innovation projects in rural properties.

The National Forest Act (NFA) is an important policy for ecosystem conservation establishing: (a) Permanent Preservation Areas (PPA), ecologically sensitive areas designed for mandatory conservation; and (b) Legal Reserves (LR), minimum percentage of native vegetation that the landowner should maintain preserved; specifically for the *Cerrado* this value is 20% of the area. PPAs are areas adjacent to rivers, lakes, artificial reservoirs, springs, wetlands, plateau edges, hillsides with slope greater than 45 degrees, hilltops, dunes, mangroves, and altitudes more than 1.800 meters. This environmental legislation allows for the preservation of riparian vegetation that provides a wide variety of ecological services (Naiman and Decamps, 1997; Ditt et al., 2008), containing productive and diverse habitats for wildlife (Sabino-Marques and Mira, 2011). These areas serve as refuge for some species, exercising control over water resources, nutrients, sediment and species of fauna and flora (Naiman and Decamps, 1997). The longitudinal pattern of riparian areas acts as structural corridors within the watershed, which facilitates migration and dispersal of species (Naiman and Decamps, 1997; Clerici and Vogt, 2013).

LRs establish a shared responsibility model for nature protection between public and private sectors. However, LRs should be defined individually and attached to rural property documentation, hindering the systematization of information in a database. Moreover, the NFA originally promulgated in 1965 (BRASIL, 1965), were weakened by law 12,651, promulgated on May 25, 2012, and its consecutive change by Law 12,727, October 17, 2012 (BRASIL, 2012a,b). The law change has caused environmental damage such as (de Oliveira, 2015): (a) compensation LRs on the biome scale, diverging from the previous one that should occur in watersheds, (b) incorporation of PPAs within the LR area, (c) use of exotic species in the LR; and (d) reduction of forest cover.

The NSCU, Law 9985 promulgated on July 18, 2000 (Brasil, 2000), establishes the criteria for creation of Protected Areas (PA), which can be subdivided into twelve categories, grouped into Full Protection Units (FPU) and Sustainable Use Units (SUU) (**Table 4.2**). The FPUs aim to preserve nature with indirect use of natural resources (e.g. scientific research, environmental education, and visitation), while SUU aim to reconcile conservation and sustainable use of natural resources. The main objectives of PAs are the following factors (Brazil, 2000): (a) conservation of varieties of biological species and genetic resources; (b) protection of endangered species; (c) preservation and restoration of the diversity of natural ecosystems; (d) protection of natural scenic beauty; (e) restoration of degraded ecosystems; (f) promotion of scientific research.

**Table 4.2** - Groups, categories, possession type, and uses allowed by law in Brazilian Protected Areas.

Group	Category	Possession type	Uses allowed by law
Full Protection Units	Ecological Station	Public	Scientific research and environmental education.
	Biological Reserve	Public	Scientific research and environmental education.
	National Park	Public	Scientific research, environmental education, recreation in contact with nature and ecological tourism.
	Natural Monument	Public and private	Scientific research, public visitation, agricultural or other private use, provided they reconciles the unit's goals with the use of land and natural resources of the place by the proprietors
	Wildlife Refuge	Public and private	Scientific research, public visitation, agricultural or other private use, provided they reconciles the unit's goals with the use of land and natural resources of the place by the proprietors
Sustainable Use Units	Environmental Protection Area	Public and private	Diversified human occupation. Rural properties may have the occupation process disciplined and restricted by specific regulation.
	Area of Relevant Ecological Interest	Public and private	Diversified human occupation. Rural properties may have the occupation process disciplined and restricted by specific regulation.
	National Forest	Public under concession for use	Scientific research, public visitation, sustainable multiple use of forest resources, with emphasis on methods for sustainable exploitation of native forests.
	Extractive Forest	Public under concession of use	Scientific research, public visitation, extractive activities, subsistence agriculture, creating small animals, commercial logging on a sustainable basis and in special situations and complementary to other activities.
	Wildlife Reserve	Public	Technical and scientific studies on the economic and sustainable management of wildlife resources and public visitation.
	Sustainable Development Reserve	Public and private	Scientific research focused on nature conservation, public tours, environmental education, exploration of components of natural ecosystems under sustainable management system and the replacement of vegetation cover by cultivable species, when it is subject to zoning.
	Private Natural Heritage Reserve	Private	Scientific research and tourist, recreational and educational visits.

Brazil possesses the world's largest PA system with 1930 protected areas (1,513,828 km<sup>2</sup>) (MMA, 2015), and 585 Indigenous Lands (1,135,182 km<sup>2</sup>) (FUNAI, 2015). However, the Brazilian *Cerrado* has only 8.2% of the natural area and among these only 2.9% are FPU (MMA, 2015). Moreover, even with specific environmental legislation, illegal land use continues in protected areas of Brazil (Sparovek et al., 2010; Nolte et al., 2013). Currently, a major dilemma in public policy arises from the conflicting interests of environmental

conservation and food production growth, which is necessary due to population growth and malnutrition worldwide (Alarcon et al., 2015). In this context, landscape planning can establish mechanisms of increased food production minimizing environmental damage.

One of the main challenges is to understand the effectiveness of law for ecosystem services under different policy scenarios, identifying strategies for better arrangement of preserved areas. This article aims to evaluate the spatial arrangement in conservation areas defined by law and their importance as structural corridors. The study area is Western Bahia region, where there is a strong growth of agribusiness. In this context, we performed a Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA) under agriculture intensification and the role of PAs and PPAs. The analysis evaluates whether the PPAs alone are sufficient as structural corridors among PAs and investigates hypothetical scenarios to increase the potential of PPAs as structural corridors.

## **4.2 - MATERIAL AND METHODS**

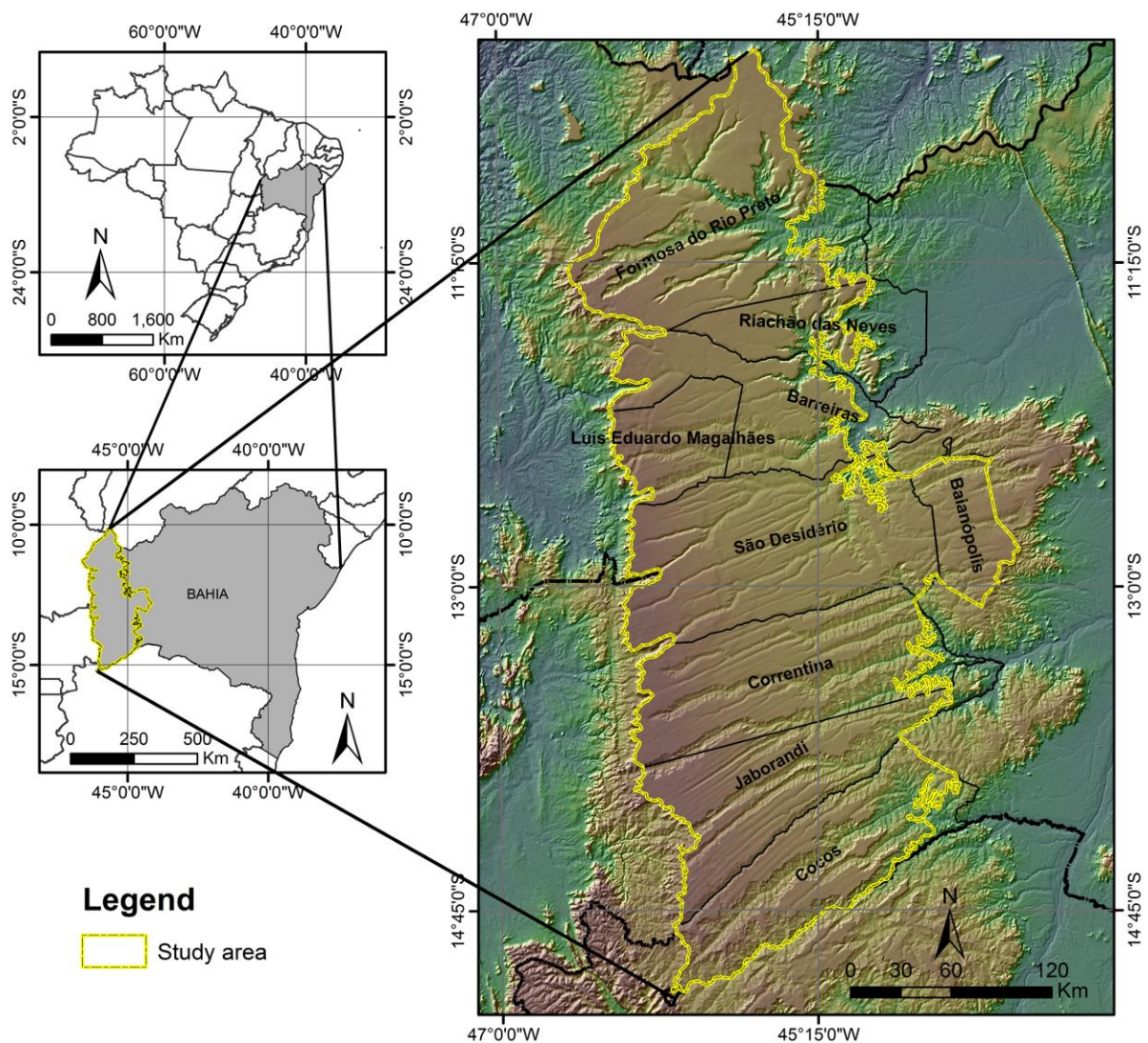
### ***4.2.1 - Study area***

The study area contemplated 7,559,783.69 hectares located in Western Bahia between latitude 10°04'36 "S and 15°14'38" S and longitude 44°08'09"W and 46°37'48" W, covering nine municipalities of Bahia State: Formosa do Rio Preto, Riachão das Neves, Barreiras, Luís Eduardo Magalhães, São Desidério, Baianópolis, Correntina, Jaborandi, and Cocos (**Fig. 4.1**). In this region, the greatest advancement of agriculture occurs on the geological formation of the Urucuia Group (Upper Cretaceous), characterized by flat topography and Oxisols amenable to agricultural mechanization (Oliveira et al., 2014). The Urucuia Group contains a large aquifer, which is responsible for regulating the tributaries of the São Francisco River in the dry season (Gaspar et al., 2012). Precipitation is concentrated in the rainy season (from November to April) and annual rainfall range from 800 mm in the east to 1600 mm in the west.

Over recent decades, public policy of the Western Bahia region has encouraged agricultural growth. Since the 1970s, the Brazilian government has created funding programs for irrigation and modernization of agriculture (Oliveira et al., 2014); tax incentives for the planting of coffee and cotton (Menke et al., 2009); and expansion of rural credit (Castro and Teixeira, 2012). These government policies resulted in increased migration of farmers from the southern region of the country, causing rapid expansion of mechanized agriculture (Brannstrom and Brandão, 2012; Oliveira et al., 2014) and increased landscape fragmentation



(Oliveira et al., 2015). Currently, Western Bahia is one of the priority areas for conservation of the *Cerrado* biome because of high anthropogenic pressure (MMA, 2002). Cerrado deforestation in the study area increased from 795,502.61 hectares in 1988 to 2,804,679.75 hectares in 2011 (Oliveira et al., 2015). The annual deforestation rate over the Urucua Group in Western Bahia (approximately 1.16% per year, or approximately 87.355,53 hectares per year) is higher than the 0.6% per year registered for the Brazilian *Cerrado* Biome in the period 2002-2010 (MMA-IBAMA, 2011).



**Fig. 4.1** - Location map of study area.

#### 4.2.2 - Mapping of the Permanent Preservation Areas (PPAs)

In the study area, the PPAs contemplate plateau edges and water bodies (drains, rivers, springs, lakes and artificial reservoirs). The hydromorphic soils were also mapped to

establish alternative scenarios for conservation. The PPA delimitation used a buffer according to the width specified in the NFC (**Table 4.3**).

**Table 4.3** - Permanent Preservation Areas (PPA) mapped in the study area.

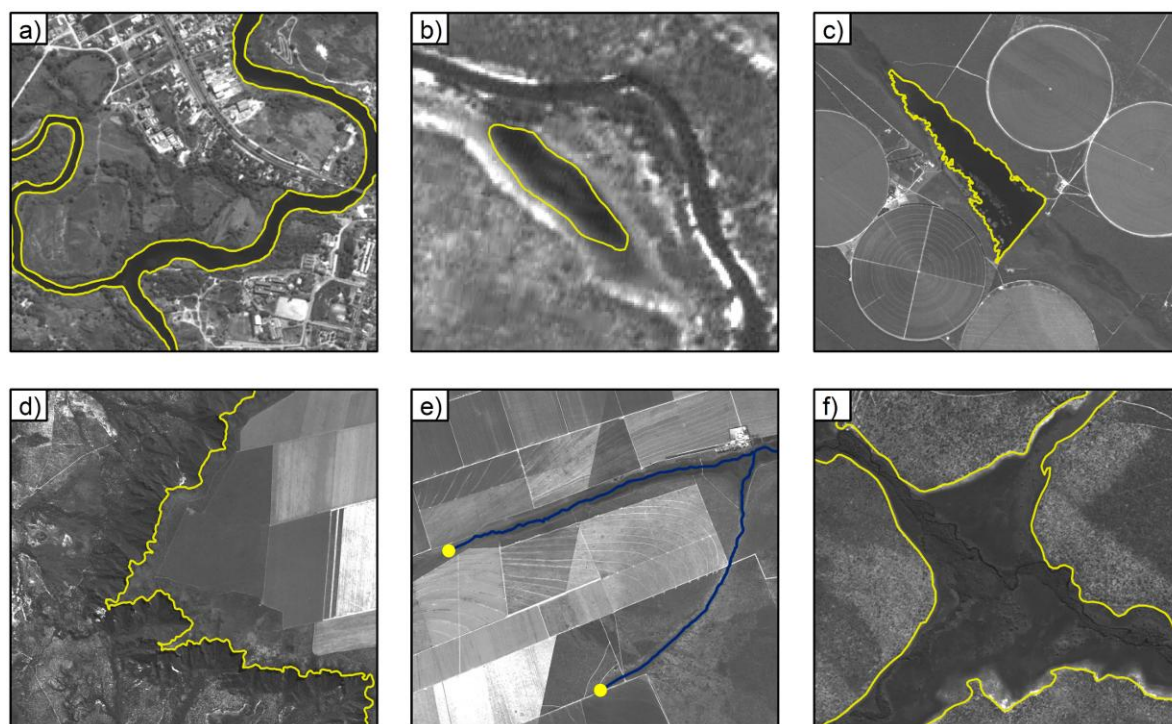
PPA types	PPA width
Perennial or intermittent streams less than 10 meters wide	30 meters
Perennial or intermittent streams with 10 to 50 meters wide	50 meters
Perennial or intermittent streams with 50 to 200 meters wide	100 meters
Around the perennial springs	50 meters
Around the natural lakes and ponds in rural areas with up to 20 hectares of surface	50 meters
Around the natural lakes and ponds in rural areas with over 20 hectares of surface	100 meters
Around the natural lakes and ponds in urban areas independent of the surface area	30 meters
On the edges of plateaus	100 meters
Around the artificial reservoir in consolidated urban areas	30 meters
Around the artificial reservoir in rural areas	100 meters
Around the artificial reservoir for the energy generation or public supply in rural areas	30 meters
Around the artificial reservoir for the energy generation or public supply in urban areas	15 meters

We used the land-use/land-cover map elaborated by Laboratory of Spatial Information System of the University of Brasilia in partnership with Inter-American Institute for Cooperation and Agriculture and the Ministry of National Integration. This mapping used visual interpretation from images of the Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping/Advanced Land Observing Satellite (PRISM/ALOS) with spatial resolution of 2.5 m for the period 2007-2010 (**Fig. 4.2**). Moreover, images from other sensors helped in the interpretation such as TM/Landsat 5 (Thematic Mapper/Land Remote Sensing Satellite), CCD/CBERS 2 (Couple Charged Device/China-Brazil Earth Resources Satellite) and Google Earth images. The mapping had 26 classes of land-use/land-cover, which were simplified to six classes. The delimitation of illegal land-use adopted the intersection between land-use/land-cover and PPAs.

#### **4.2.3 - Conservation units in the study area**

The official PA vectors are available from the website of the Ministry of the Environment (MMA) (<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>). The study area has four FPU (all federal) and four SUU (1 federal and 3 of the Bahia State) (**Fig. 4.3**). The FPUs present in the study area are the following: Grande Sertão Veredas National Park; Nascentes do Rio Parnaíba National Park; Serra Geral do Tocantins Ecological Station; and Veredas do

Oeste Baiano Wildlife Refuge. The SUUs are: Cristópolis National Forest; Rio Preto Environmental Protection Area, Bacia do Rio de Janeiro Environmental Protection; and São Desidério Environmental Protection (**Fig. 4.3**).

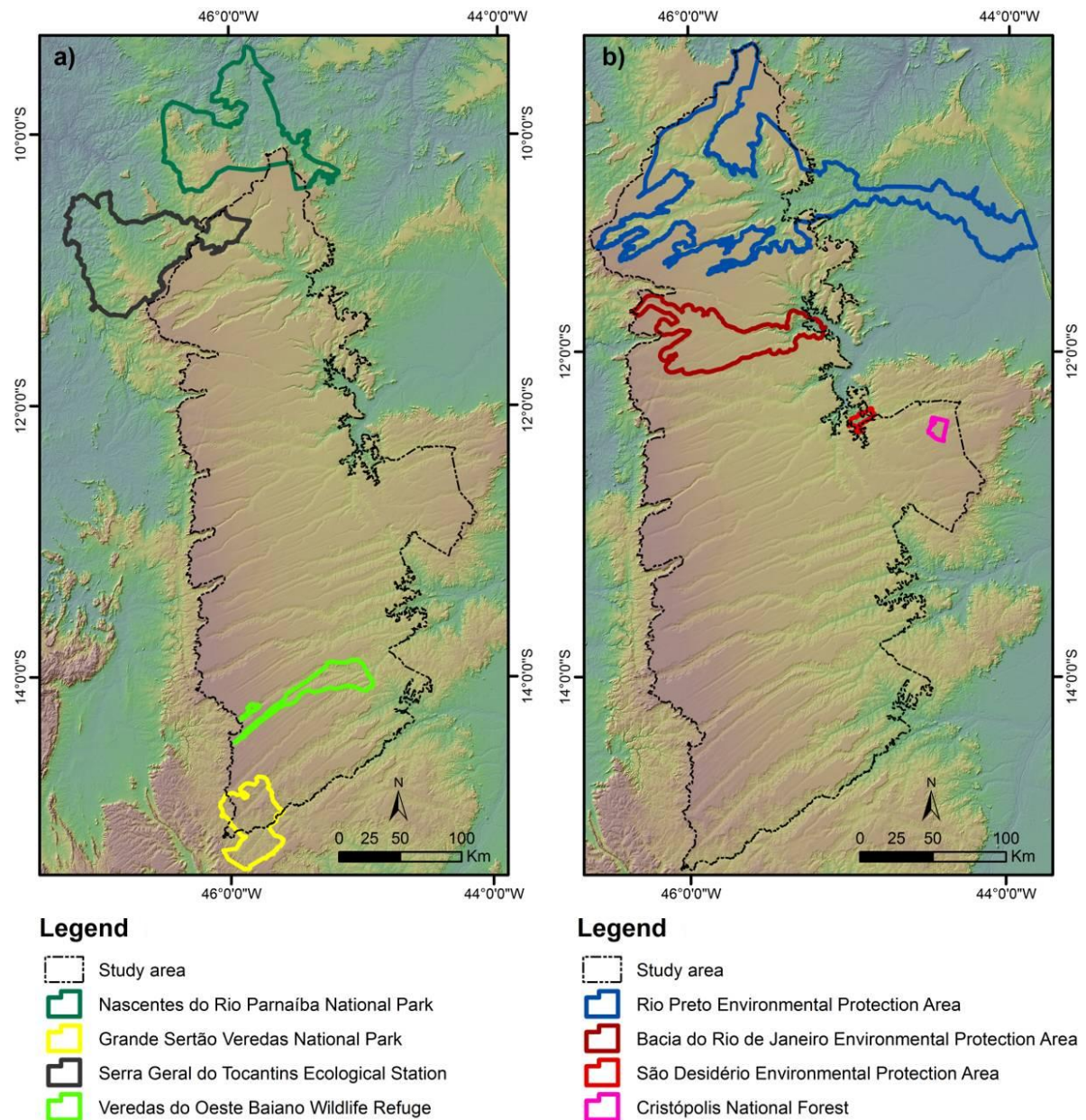


**Fig. 4.2** - Land use/land cover classes mapped for PPAs obtaining: a) rivers; b) natural lakes; c) artificial reservoirs; d) plateaus edges; e) springs; and f) hydromorphic soils (humid areas).

The Grande Sertão Veredas National Park is the oldest FPU, created in 1989, while, the Bacia do Rio de Janeiro Environmental Protection is the oldest SUU, established in 1993 (**Table 4.4**). All other PAs were created after 2001, with the arrival of the NSCU. The most representative PA is the Rio Preto Environmental Protection Area, covering 10.64% of the total area, while the less representative is the São Desidério Environmental Protection Area, with only 0.03% of the total area (**Table 4.4**).

FPU occupy 4.62% of the study area and SUUs 14.72%. However, there is overlap between the Rio Preto Environmental Protection Area, Nascentes do Rio Parnaíba National Park, and Serra Geral do Tocantins Ecological Station, totaling 87,641.18 hectares (1.16% of the study area). Thus, protected areas represent 18.18% of the study area. Only Wildlife Refuge Veredas do Oeste Baiano (FPU) and the National Forest Cristópolis (UUS) are 100% within the study area, which together account for 1.86% of the total.





**Fig. 4.3** - Conservation Units in the study area: (a) Full Protection Units; and (b) Sustainable Use Units.

Deforestation evolution within the protected areas was analyzed from the multi-temporal land-use/land-cover mapping developed by Oliveira et al. (2014) using Landsat TM images for the years 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008, and 2011. The Landsat 5 TM images were co-registered using ENVI software, considering a root mean squared error (RMSE) less than 0.2 pixels to achieve an accuracy of 90% for change detection (Dai and Khorram, 1998; Townshend et al., 1992). The Landsat TM images were classified by visual interpretation considering six predefined classes: agriculture and livestock, water bodies, reforestation, urban areas, altered vegetation, and natural vegetation. This procedure ensured that the lines of polygons without land use changes remain unchanged.

**Table 4.4** - Representativeness of the Protected Areas within the study area.

Unit type	Protected Area Name	Year of Creation	Federation status	Total area (ha)	Area of the Protected Area in the study area		Protected Area representativeness in the study area (%)
					(ha)	(%)	
Full Protection	Grande Sertão Veredas National Park	1989	Federal	230,853.42	121,325.49	52.56	1.60
Full Protection	Nascentes do Rio Parnaíba National Park	2002	Federal	724,324.61	24,781.97	3.42	0.33
Full Protection	Serra Geral do Tocantins Ecological Station	2001	Federal	707,078.75	75,532.67	10.68	1.00
Full Protection	Veredas do Oeste Baiano Wildlife Refuge	2002	Federal	128,048.99	128,048.99	100.00	1.69
Sustainable Use	Cristópolis National Forest	2001	Federal	12,840.69	12,840.69	100.00	0.17
Sustainable Use	Rio Preto Environmental Protection Area	2006	State	1,146,162.57	804,542.85	70.19	10.64
Sustainable Use	Bacia do Rio de Janeiro Environmental Protection Area	1993	State	300,127.76	292,950.77	97.61	3.88
Sustainable Use	São Desidério Environmental Protection Area	2006	State	10,961.15	1,948.28	17.77	0.03

#### 4.2.4 - Scenario simulation using Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA)

The evaluation of PPAs as structural corridors considered landscape metrics from Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA) in various scenarios. The MSPA attributes information on the spatial and structural patterns of the landscape from binary images (forest/non-forest) at 15-meter resolution. MSPA applies a sequence of morphological operators known as erosion, dilation, and anchored homotopic skeletonization (Vogt et al., 2007a; Vogt et al., 2009). The algorithm consists of a sequence of logic operations (union, intersection, complementation, and translation) considering geometric objects called “structuring elements” of previously defined size and shape (Vogt et al., 2007b). Automated classification was performed by Guidos software (<http://forest.jrc.ec.europa.eu/download/software/guidos>), resulting in seven mutually exclusive classes: core, islet, bridge, loop, edge, perforation, and branch (Soille and Vogt, 2009). The bridge class was defined as structural corridors (Vogt et al., 2007a; Clerici and Vogt, 2013).

Recommended widths of buffer zones for riparian habitat ranges from 30m to 500m, wherein for reptiles and amphibians this can be up to 1000m (Fisher and Fischenich, 2000). The calculation of MSPA attributes was conducted considering 3 edge widths, 15 meters (1 pixel), 510 meters (34 pixels), and 1005 meters (67 pixels).

The delimitation of PPAs in Western Bahia demonstrates some points with the presence of illegal land-use (Spagnolo et al., 2012; Castro et al., 2013). Therefore, the fragmentation metrics were computed for current condition, containing illegal areas, and a scenario with law enforcement. In addition, we analyzed hypothetical scenarios with the demarcation of Legal Reserves adjacent to APs and their implication for improving structural connectivity of the landscape.

In Western Bahia, especially on the geological formation of Urucua Group, there are many wetlands adjacent to major rivers, with the presence of hydromorphic soils. These wetlands are not defined in the NFA as PPAs; however, due to their fragility and importance to local ecosystems they should be preserved in the form of LR. Therefore, various scenarios were simulated considering a gradual increase in preserved areas: (a) Real scenario (remaining natural vegetation obtained through PRISM/ALOS image); (b) Scenario 1 (remaining natural vegetation + PPAs and PA recovered); (b) Scenario 2 (Scenario 1 + hydromorphic soils); (c) Scenario 3 (Scenario 2 + Legal Reserve of 50 meters around the hydromorphic soils); and (d) Scenario 4 (Scenario 3 + Legal Reserve of 200 meters around the hydromorphic soils).

## 4.3 - RESULTS

### 4.3.1 - *Permanent Preservation Areas (PPAs) in the study area*

Excluding the overlapping regions, the total area of PPAs represents 3.54% of the study area (**Table 4.5**). The PPA of river and drainage margins are the most significant (2.43%), followed by plateau edge (1.05%), springs (0.25%) and other bodies of water (0.03%).

The crossing of PPAs and land-use/land-cover maps elaborated by Laboratory of Spatial Information System of the University of Brasilia revealed the conservation status of the PPAs (**Table 4.6**). The natural vegetation cover was 95.65% of the total area of PPAs. Agriculture was the main illegal use found within the PPAs (2.86%). The areas with altered vegetation represented 1.44%, reforestation 0.04%, and urban areas 0.01%.

**Table 4.5** - Representativeness of the Permanent Preservation Areas in the study area.

PPAs types	Area (hectares)	% in relation the PPAs total area	% in relation to the study site
PPAs of Plateaus edges	79,210.22	29.64	1.05
PPAs of water bodies	2,217.08	0,83	0.03
PPAs of rivers and drains	183,326.56	68.59	2.43
PPAs of springs	18,581.85	6.95	0.25
Sum of all PPAs area	283,335.72	-	3.75
PPAs overlapping areas	16,053.93	-	0.21
PPAs total in study area	267,281.78	100.00	3.54
Study area total	7,559,783.69	-	100.00

**Table 4.6** - Land use/land cover in Permanent Preservation Areas for ALOS mosaic.

Land use/land cover classes	Area	
	Hectares	%
Agriculture and livestock	7,649.58	2.86
Urban areas	20.32	0.01
Reforestation	107.25	0.04
Altered vegetation	3,842.27	1.44
Natural vegetation	255,662.36	95.65
Total	267,281.78	100.00

#### 4.3.2 - Conservation Units in the study area

**Figures 4.4** and **4.5** show the land-use/land-cover change within each FPU in the period 1988-2011. Since 1988, all FPU have some kind of land-use. Among the FPUs, the Nascentes do Rio Parnaíba National Park is the most degraded. In 2000, two years before the creation of this park, the area covered by farming was 3.17%, increasing successively in 2004 (15.52%), 2008 (29.03%) and 2011 (29.23%) (**Fig. 4.4c**). The sharp increase in areas with altered vegetation in 2004 (4.06%) contributed to the expansion of agriculture in the following years.

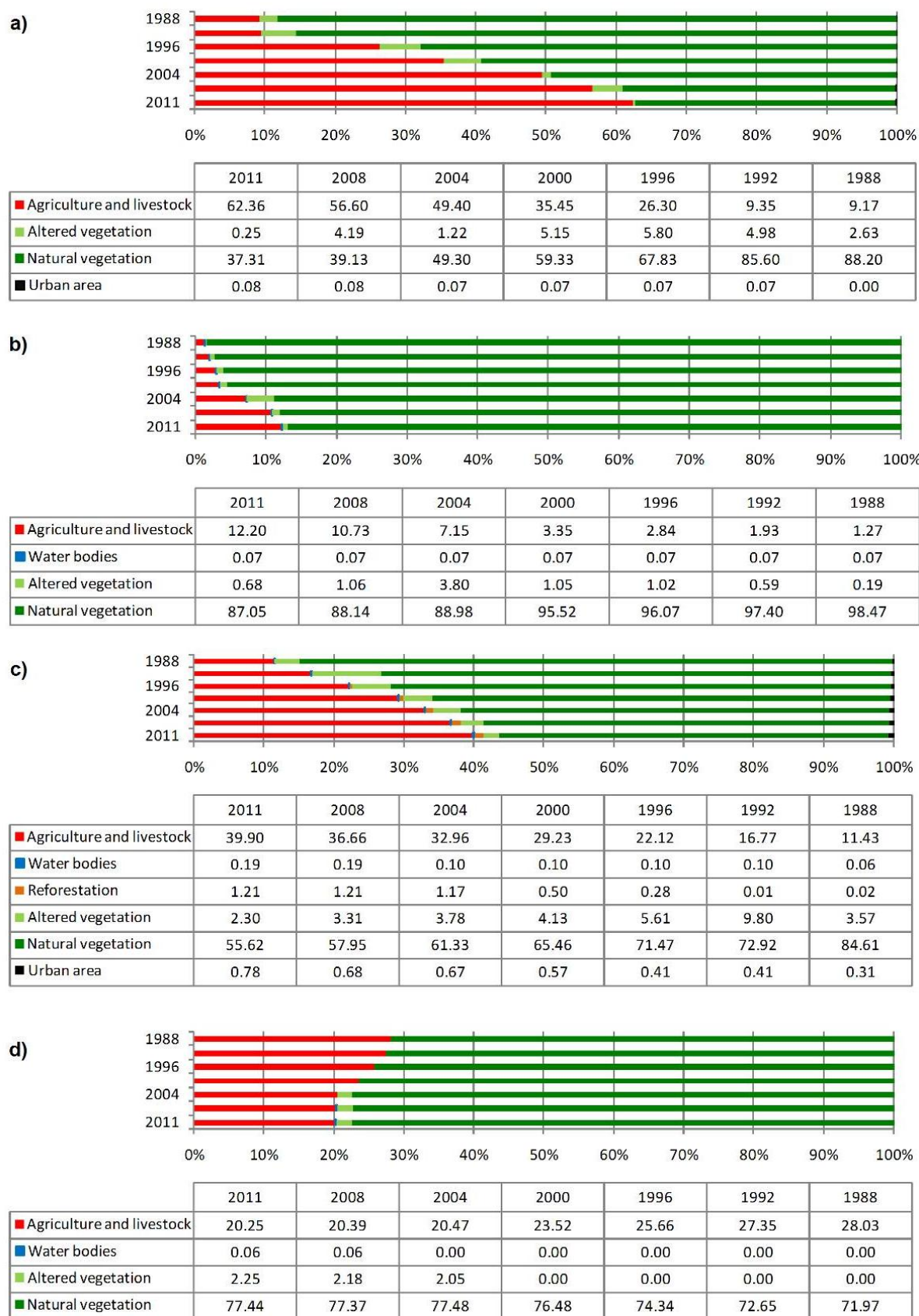
The Grande Sertão Veredas National Park was the only FPU showing a reduction in anthropic use after its implementation. Founded in 1989, this unit had 1.24% of its area covered by agriculture in 1992, reducing to 0.36% in 2011 (**Fig. 4.4a**). After its creation, there was a decrease of altered vegetation from 1.76% (1992) to 0.39% (2011). Reforestation was mapped in the park only in 1988 and 1992. However, the natural vegetation increased from 99.49% (1988) to 99.20% (2011).

The Serra Geral do Tocantins Ecological Station showed a continuous reduction of natural vegetation from 99.32% (2000 - one year before its creation) to 99.09% (2011) (**Fig. 4.4b**). After its creation, there was an increase of altered vegetation from 0.01% (2000) to 0.24% (2011). However, agriculture use increased from 0.68% (2000) to 0.70% (2011).



**Fig. 4.4** - Land use/land cover in Full Protection Units in the study area: a) Grande Sertão Veredas National Park; b) Serra Geral do Tocantins Ecological Station; c) Nascentes do Rio Parnaíba National Park; and d) Veredas do Oeste Baiano Wildlife Refuge.





**Fig. 4.5** - Land use/land cover in Sustainable Use Units in study area: a) Cristópolis National Forest; b) Rio Preto Environmental Protection Area; c) Bacia do Rio de Janeiro Environmental Protection Area; and d) São Desidério Environmental Protection Area.

The Veredas do Oeste Baiano Wildlife Refuge showed a continuous reduction of natural vegetation from 98.45% (2000 - two years before its creation) to 96% (2011). Agricultural use showed the greatest expansion, increasing from 1.36% (2000) to 3.15% (2011). The altered vegetation areas increased from 0% (2000) to 0.66% (2011) (**Fig. 4.4d**).

Among the SUUs, the Cristópolis National Forest is proportionally the most degraded, with a reduction in the natural vegetation from 59.33% (2000) to 37.31% (2011). Its creation in 2001 was not able to inhibit the agricultural expansion, which increased from 35.45% (2000) to 62.36% (2011) (**Fig. 4.5a**), the urban area increase of 0.07% (2000) to 0.08% (2011). Altered vegetation proportions showed large variations over the analysis period.

In the Environmental Protection Area of Rio Preto, the natural vegetation decreased of 87.85% (2004 - two years before its creation) to 87.05% (2011). The agricultural area increase was from 7.35% (2004) to 12.20% (2011), while altered vegetation showed variations over time (**Fig. 4.5b**).

The Bacia do Rio de Janeiro Environmental Protection Area had the most diverse land-use types in the study area (**Fig. 4.5c**). Between 1992 (the year before its creation) and 2011, natural vegetation decreased from 72.92% to 55.62% (down 17.3%). In contrast, the implementation of irrigation structures provided growth of following classes: agriculture from 16.77% to 39.90%, reforestation from 0.01% to 1.21%, urban areas from 0.41% to 0.78%, and water bodies from 0.10% to 0.19%. The altered vegetation decreased from 9.80% in 1992 to 2.30% in 2011, where most of its areas were converted to agriculture.

In the São Desidério Environmental Protection Area, the natural vegetation decreased of 79.53% (2004 - two years before its creation) to 77.37% (2011). The agriculture decreased from 20.47% (2004) to 20.39% (2011), altered vegetation increased from 0.00% (2004) to 2.18% (2011), and water bodies increased from 0.00% (2004) to 0.06% (2011) (**Fig. 4.5d**).

### ***4.3.3 - Scenarios simulation for structural connectivity***

**Tables 4.7 and 4.8** list the MSPA results obtained for the actual scenario and the four simulated scenarios. Insertion of recovered areas in the real scenario increased area percentage of core class in the four simulation scenarios and for the three edge widths analyzed (**Table 4.7**). However, the simulations with edge width of 15 and 1005 meters did not result in an increased bridge class area. The number of bridge classes also decreased in the three edge widths and almost all scenarios analyzed (**Table 4.8**). Increase in insercion of

recovered areas in the simulated scenarios decreased area and number of islets (**Tables 4.7 and 4.8**) and decreased area and frequency of edge classes in some scenarios analyzed. In general, the loop and branch classes decreased in area and frequency, however, this reduction not was continuous. **Figure 4.6** shows an exemplification some of the simulated scenarios with the MSPA metrics. The increase in edge width resulted in the reduction in both the total area and patch number for core class (**Tables 4.7 and 4.8**).

**Table 4.7** - Area of Morphological Spatial Pattern Analysis classes (in percentage) for real scenario and four simulations.

MSPA class	Edge width	MSPA classes in ALOS mosaic – Area (%)	Simulation 1 Area (%)	Simulation 2 Area (%)	Simulation 3 Area (%)	Simulation 4 Area (%)
Core	15 meters	65.00	68.31	68.35	68.45	68.80
	510 meters	50.41	55.11	55.18	55.29	55.91
	1005 meters	39.94	45.70	45.78	45.92	46.69
Bridge	15 meters	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	510 meters	3.13	3.30	3.28	3.32	3.03
	1005 meters	10.86	10.76	10.70	10.66	10.47
Islet	15 meters	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	510 meters	0.34	0.27	0.27	0.27	0.26
	1005 meters	0.63	0.51	0.51	0.51	0.50
Perforation	15 meters	0.38	0.43	0.43	0.42	0.40
	510 meters	2.71	2.55	2.56	2.55	2.60
	1005 meters	2.60	2.09	2.08	2.06	2.06
Edge	15 meters	0.31	0.25	0.25	0.25	0.24
	510 meters	5.85	4.84	4.82	4.80	4.80
	1005 meters	6.42	5.73	5.75	5.75	5.84
Loop	15 meters	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	510 meters	2.38	2.19	2.19	2.17	2.11
	1005 meters	3.81	3.12	3.13	3.17	2.79
Branch	15 meters	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	510 meters	0.90	0.76	0.76	0.74	0.75
	1005 meters	1.45	1.11	1.11	1.08	1.11

#### 4.4 - DISCUSSION

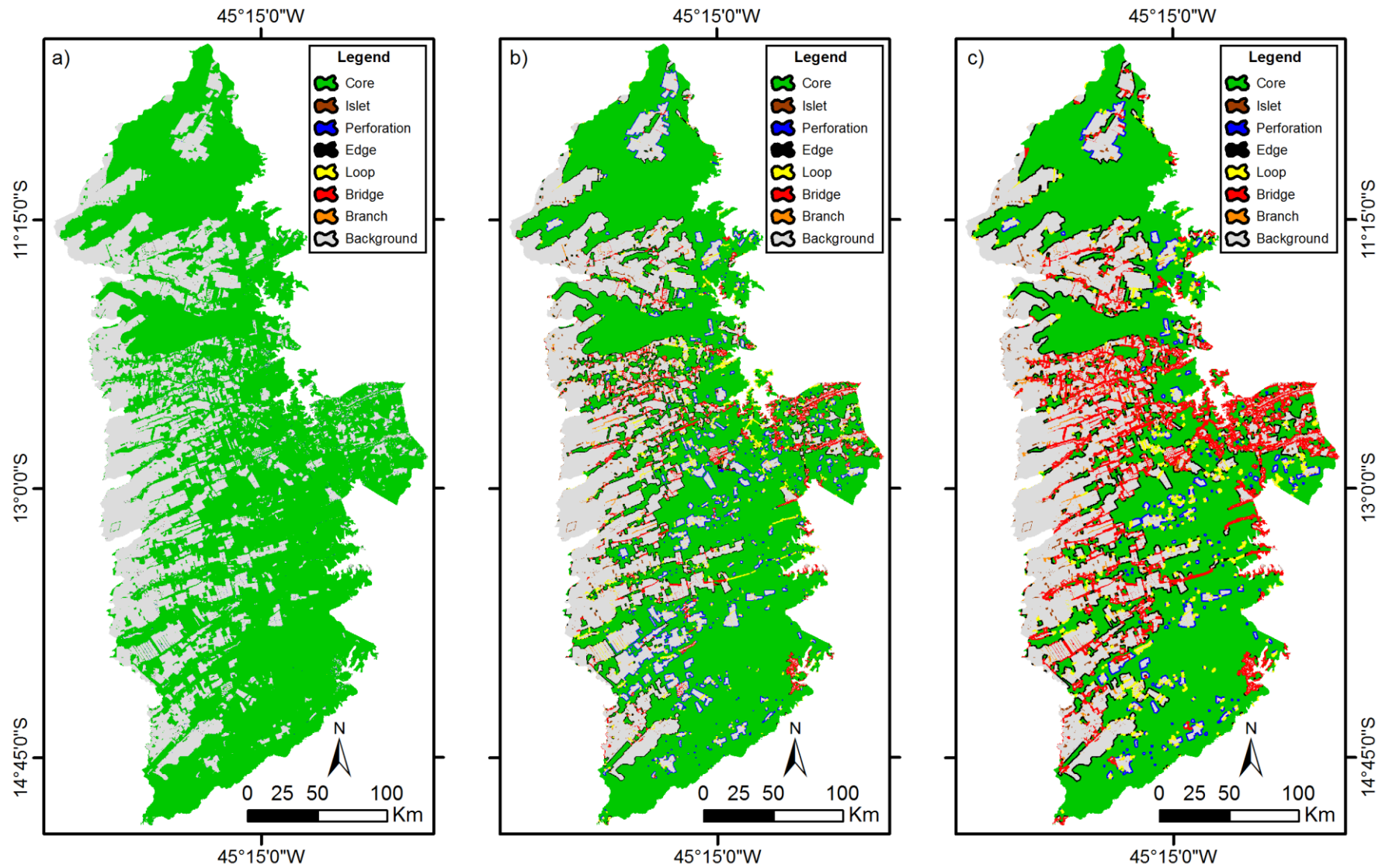
The increase in protected areas in Western Bahia on the geological formation of the Urucuia Group (both FPU and SUUs) is related to the creation of the National System of Conservation Units in Brazil (NSCU) in 2000. The FPUs increased from 1.60% of study area in 2000, date of establishment of NSCU, to 4.62% in 2002, date of creation of the last unit. The SUUs increased from 3.88% to 13.56% in 2006. However, the expansion of protected areas observed in the early years of the NSCU was not maintained in subsequent years. In the

study area, the percentage of protected area as FPU is higher than that for the Cerrado biome (2.85%), however it is still much lower than the 9.6% for the Legal Amazon (MMA, 2015).

**Table 4.8** - Patch number of Morphological Spatial Pattern Analysis classes for real scenario and four simulations.

MSPA class	Edge width	MSPA classes in 2011	Simulation 1 Patch number	Simulation 2 Patch number	Simulation 3 Patch number	Simulation 4 Patch number
Core	15 meters	3628	3008	2990	2918	2796
	510 meters	710	622	621	623	628
	1005 meters	533	466	462	451	461
Bridge	15 meters	2725	2171	2150	2102	2016
	510 meters	698	605	599	582	572
	1005 meters	496	415	412	405	417
Islet	15 meters	727	582	559	545	516
	510 meters	1684	1412	1381	1351	1274
	1005 meters	1749	1448	1417	1387	1310
Perforation	15 meters	4912	5240	5175	5195	4718
	510 meters	1096	1042	1055	1043	999
	1005 meters	486	415	416	427	378
Edge	15 meters	4629	3878	3842	3780	3592
	510 meters	2852	2666	2645	2628	2538
	1005 meters	1752	1558	1561	1558	1539
Loop	15 meters	2950	3248	3189	3221	2931
	510 meters	965	868	867	863	853
	1005 meters	414	359	358	358	335
Branch	15 meters	19131	16506	16315	15369	13728
	510 meters	16946	14383	14361	14282	15105
	1005 meters	9849	8727	8719	8604	8804

The multi-temporal analysis of deforestation in Conservation Unit within the study area showed a violation of Brazilian environmental legislation, which is not fully effective in environmental conservation. Despite severe land-use restrictions in FPUs, the results demonstrate the occurrence of agriculture, forestry, and altered vegetation. The SUUs showed an increase of deforested areas, with the exception of the São Desidério Environmental Protection Area (which has irrelevant area within the study site). The most critical case is the Cristópolis National Forest, which in 2011 was only 37.31% of its preserved area, 22.02% less than in 2000 (a year before its creation). An alternative for deforestation reduction is the conversion of the areas still preserved from SUUs to FPUs. Deforestation in National Parks and Ecological Stations demonstrates the need for effective supervision by the responsible public agencies. The improper occupations of FPUs have also been registered in other Brazilian biomes (Sparovek et al., 2010; Nolte et al., 2013; Veríssimo, 2011).



**Fig. 4.6** - Some of the simulated scenarios: a) Scenario 4 with edge width of 15 meters; b) Scenario 4 with edge width of 510 meters; and c) Scenario 4 with edge width of 1005 meters.

Despite the fact that PPAs are regulated by federal law since 1965 (National Forest Act), 4.35% of the areas studied are being used inappropriately. In part, this can be explained by mechanized agriculture intensification (Castro et al., 2013; Menke et al., 2009; Oliveira et al., 2014; Sano et al., 2011; Spagnolo et al., 2012). However, the registration and regularization of rural properties has been encouraged through government projects; the farmer group Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA); environmental conservation organizations; and international cooperation agencies (IICA, 2014; AIBA, 2015; TNC, 2015). These actions contribute to the preservation of PPAs. In Western Bahia on the Formation of Urucua Group, the drainage pattern has a strong structural control, which has repercussions on the design and connectivity of riparian corridors. The drainage pattern is parallel or sub parallel, where the rivers flow into the Rio San Francisco oriented predominantly in the west-east direction (N45-65E) (Gaspar, 2006). The high distances between the rivers that run parallel and the lack of transversal drainage (north-south) impair the connectivity of these environments. This drainage pattern causes a low-density configuration in the protected areas.

Another important aspect is the flexibility in the demarcation of LR. The Brazilian Forest Code, 1965 (Brazil, 1965) provided that the landowner containing legal reserve lower than expected by law could compensate in another area with the same ecological importance and extension, once they belonged to the same ecosystem and were located in the same watershed river. The new Brazilian Forest Code 2012 (Brazil, 2012a,b) allowed, from 22/07/2008, the compensation of Legal Reserve in a rural property within places in the same biome (de Oliveira, 2015). However there is no consensus on the minimum area and the optimum arrangement that the LR should have to allow the conservation and protection of biodiversity (Metzger, 2002).

A highly negative aspect of law alteration is that the simple change of LR from a phytogeographical region of the *Cerrado* to another can result in the loss of biodiversity. The *Cerrado* vegetation is rich and diverse and its spatial distribution configures a mosaic pattern (Durigan et al., 2003; Felfili et al., 2004; Ratter et al., 2000; Ratter et al., 2003). Furthermore, there is high variation in the density of species between sites within the *Cerrado*, because, even when there are large numbers of common species between sites, the size of species populations varies widely from one place to another (Felfili et al., 2004). Therefore, the compensation of LR at the biome scale can cause deforestation of entire regions, in contrast to having other regions well preserved, which can lead to local extinctions (de Oliveira, 2015). Therefore, the geographical distribution patterns of species should be considered, especially

endemic species. In addition, Brazilian environmental legislation allows for the use of alien species in the composition of the LR, which usually contain less biodiversity than native vegetation (Metzger, 2010). In the case of Western Bahia, the quality of land for mechanized agriculture will induce farmers to change their LR out of the area studied. Moreover, the region is a phytogeographical unit with a distinct pattern of *Cerrado* vegetation (diversity, floristic and structural), which makes it one of the priority areas for the conservation of aquatic biota, birds and mammals (Felfili et al., 2004; MMA, 2002). In addition, this region is the Urucuia Aquifer recharge zone, which regulates the flow of the tributaries of the left bank of the middle São Francisco River and has its groundwater used in the supply of farms, villages and irrigation projects (Gaspar and Campos, 2007). The rapid expansion of agricultural activities without proper landscape planning can undermine the sustainability of local ecosystems and impair the groundwater recharge zone.

An ideal scenario would be the demarcation of LRs adjacent to the PPAs and Conservation Units, protected areas and ecological corridors. In the Western Bahia, this procedure can facilitate the preservation of hydromorphic soils and riparian vegetation, and create a buffer zone between the human activities and areas protected by law. This would be very important for the preservation of Conservation Units (DeFries et al., 2004) and riparian zones (Naiman and Decamps, 1997; Ditt et al., 2008; Sabino-Marques and Mira, 2011), which often rely on the surrounding landscapes to maintain the flows of organisms, water, nutrients and energy. Moreover, the preservation of riparian areas increase structural landscape connectivity (Clerici and Vogt, 2013), reducing fragmentation of the landscape. However, the demarcation of the legal reserve in the areas of hydromorphic soil can be resisted by the farmers.

In this way, the various scenario simulations from the MSPA metrics were built considering the expansion of preserved areas along the riparian areas. The demarcation and preservation of areas protected by law guarantees the maintenance of core areas in the landscape and can enhance the structural connectivity. The increase in preserved areas led to the following changes in MSPA metrics: increase in area of core class, reduction of area and frequency of islet class, and little change in bridge class, as described in other studies (Seebach et al., 2013; Kang and Choi, 2014; Kang and Kim, 2015; Oliveira et al., 2015). In the study area, the predominant agricultural pattern consists of continuous and extensive crops, containing few fragments of natural vegetation within the plantations (Oliveira et al., 2014). Furthermore, low density PPA also influences the results of the simulated scenarios. The Conservation Units are concentrated mainly in the northern and southern part in the study

area, demonstrating the need to create protected areas (New Conservation Units) in the central part of the study area, linking parallel drainages. These should be developed in the north-south direction to interconnect local corridors formed by PPAs of the riparian area (west to east). On the west end of the area, the LR must be demarcated by expanding the PPAs of plateau edge, increasing north-south connectivity.

#### **4.5 - CONCLUSIONS**

The Brazil National Conservation Unit System and National Forest Act provided a significant increase in protected areas in Western Bahia on the Urucua Group. However, improper use occurs even within National Parks and Ecological Stations, where land use is extremely limited. Permanent Preservation Areas represent 3.54% of the study area, with 4.35% of this area having illegal use. These results point to a greater role of environmental agencies in monitoring and enforcement. The parallel drainage pattern results in low PPA density and imposes a PPA organization in an east-west direction. The spatial distribution of preserved areas in this human-dominated landscape highlights the need for the adoption of new strategies to balance ecosystem conservation goals with those of agricultural growth. The simulation from morphological metrics of landscape structure according the Brazilian environmental laws (PPAs, LR and PAs) demonstrates the need for expansion of preserved areas to increase the fragment area size and connectivity among them. The adoption of the Legal Reserve in the expansion of PPAs and Conservation Units would create a buffer zone for the areas protected by law. However, the change in the Brazilian Forest Code on the demarcation of Legal Reserves deeply affects this phytogeographical region of the *Cerrado*. The high land values for mechanized agriculture are a strong economic incentive for the implementation of Legal Reserves outside the study area. New protected areas must be created in the central part of the area in the north-south direction. Moreover, in the west of the study area, it would be important to demarcate legal reserves along the plateau edge (PPA expansion), thus increasing the connectivity in the north-south direction. Spatial analysis of landscape coupled with environmental policies is crucial to establish strategies to maintain the ecological and hydrological interactions in an extremely dynamic environment driven by the need for agricultural production.

#### **REFERENCES**

- Abbade, E.B. 2014. O papel do agronegócio brasileiro no seu desenvolvimento econômico. *GEPROS*, 9(3), 149-158. doi: 10.15675/gepros.v9i3.1053



- AIBA. 2015. Cartilha sobre regularização ambiental de propriedades rurais na Bahia. 45p. Available at: <<http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2015/10/Cartilha-Meio-Ambiente-AIBA2.pdf>> (Accessed 07.11.15).
- Alarcon, G.G., Ayanu, Y., Fantini, A.C., Farley, J., Schmitt Filho, A., Koellner, T. 2015. Weakening the Brazilian legislation for forest conservation has severe impacts for ecosystem services in the Atlantic Southern Forest. *Land Use Policy*, 47, 1-11. doi: 10.1016/j.landusepol.2015.03.011
- Ávila, A.F.D., Romano, L., Garagorry, F. 2010. Agricultural productivity in Latin America and the Caribbean and sources of growth. In: Pingalli, P.L., Evenson, R.E. (Eds.), *Handbook of Agricultural Economics*. Burlington, Academic Press, pp. 3713-3768.
- Brannstrom, C., Brandão, P.R.B. 2012. Two hundred hectares of good business: Brazilian agriculture in a themed space. *Geogr. Rev.* 102, 465-485. doi: 10.1111/j.1931-0846.2012.00170.x
- Brasil, 1965. Lei no. 4.771 de 15 de setembro de 1965, <http://www.planalto.gov.br> [www document].
- Brasil, 2000. Lei no. 9.985 de 18 de julho de 2000, <http://www.planalto.gov.br> [www document].
- Brasil, 2012a. Lei no. 12.651 de 25 de maio de 2012, <http://www.planalto.gov.br> [www document].
- Brasil, 2012b. Lei no. 12.727 de 17 de outubro de 2012, <http://www.planalto.gov.br> [www document].
- Castro, A.S., Gomes, R.A.T., Guimarães, R.F., Carvalho Júnior, O.A., Martins, E.S. 2013. Análise da dinâmica da paisagem no município de Formosa do Rio Preto (BA). *Espaço & Geografia*, 16, 307-323.
- Castro, E.R., Teixeira, E.C. 2012. Rural credit and agricultural supply in Brazil. *Agr. Econ.* 43, 293-302. doi: 10.1111/j.1574-0862.2012.00583.x
- Chaddad, F.R., Jank, M.S. 2006. The evolution of agricultural policies and agribusiness development in Brazil. *Choices*, 21(2), 85-90.
- Clerici, N., Vogt, P. 2013. Ranking European regions as providers of structural riparian corridors for conservation and management purposes. *Int. J. Appl. Earth Obs.* 21, 477-483. doi: 10.1016/j.jag.2012.07.001

- Contini, E., Gasques, J.G., Alves, E., Bastos, E.T. 2010. Dynamism of Brazilian agriculture. *Revista de Política Agrícola*, 19, 42-63.
- Dai, X., Khorram, S. 1998. The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 36, 1566-1577. doi: 10.1109/36.718860
- de Oliveira, G.B. 2015. O Novo Código Florestal e a Reserva Legal do Cerrado. Universidade de Brasília, Brasília (Doctoral thesis).
- DeFries, R., Karanth, K.K., Pareeth, S. 2010. Interactions between protected areas and their surroundings in human-dominated tropical landscapes. *Biological conservation*, 143(12), 2870-2880. doi:10.1016/j.biocon.2010.02.010
- Ditt, E.H., Knight, J.D., Mourato, S., Padua, C.V., Martins, R.R., Ghazoul, J. 2008. Defying legal protection of Atlantic Forest in the transforming landscape around the Atibainha reservoir, south-eastern Brazil. *Landsc. Urban. Plan.* 86, 276-283. doi: 10.1016/j.landurbplan.2008.04.001
- Durigan, G., Siqueira, M.F., Franco, G.A.D.C., Bridgewater, S., Ratter, J.A. 2003. The vegetation of priority areas for cerrado conservation in São Paulo State, Brazil. *Edinburgh Journal of Botany*, 60(2), 217-241. doi: 10.1017/S0960428603000155
- Felfili, J. M., da Silva Júnior, M. C., Sevilha, A. C., Fagg, C. W., Walter, B. M. T., Nogueira, P. E., Rezende, A. V. 2004. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. *Plant Ecology*, 175(1), 37-46. doi: 10.1023/B:VEGE.0000048090.07022.02
- Figueiredo, A.M., Santos, M.L., Lima, J.F. 2012. Importância do agronegócio para o crescimento econômico de Brasil e Estados Unidos. *Gestão & Regionalidade*, 28(82), 5-17. doi: 10.13037/gr.vol28n82.402
- Fischer, R.A., Fischenich, J.C. 2000. Design recommendations for riparian corridors and vegetated buffer strips. MRRP technical notes collection (ERDC TN-EMRRP-SR-24). US Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg. Available at: <<http://www.wes.army.mil/el/emrrp>> (Accessed 25.09.15).
- FUNAI. 2015. Terras indígenas. Available at: <<http://www.funai.gov.br/index.php/indios-no-brasil/terras-indigenas>> (Accessed 010.11.15).
- Gaspar, M.T.P. 2006. Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização regional e proposta de gestão. Universidade de Brasília, Brasília (Doctoral thesis).

- Gaspar, M.T.P., Campos, J.E.G., Moraes, R.A.V. 2012. Determinação das espessuras do Sistema Aquífero Urucuia a partir de estudo geofísico. *Revista Brasileira de Geociências*. 42, 154-166. doi: 10.5327/Z0375-75362012000500013
- Gaspar, M.T.P., Campos, J.E.G.O. 2007. Sistema Aquífero Urucuia. *Revista Brasileira de Geociências*, 37, 216-226.
- Haridasan, M. 2008. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Braz. J. Plant Physiol.* 20(3), 183-195. doi: 10.1590/S1677-04202008000300003
- IICA. 2014. Geoprocessamento e Cadastramento das Propriedades Rurais do Oeste da Bahia Fases I e II. Brasília, IICA. 164p. Available at: <<http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2015/b3688p.pdf>> (Accessed 07.11.15).
- Kang, S., Choi, W. 2014. Forest cover changes in North Korea since the 1980s. *Reg Environ Change*. 14(1), 347-354. doi: 10.1007/s10113-013-0497-4
- Kang, S., Kim, J.O. 2015. Morphological analysis of green infrastructure in the Seoul metropolitan area, South Korea. *Landscape Ecol Eng.* 11(2), 259-268. doi: 10.1007/s11355-014-0268-5
- Martha Jr., G.B., Alves, E., Contini, E., Ramos S.Y. 2010, The development of Brazilian agriculture and future challenges. *Revista de Política Agrícola*, 19, 91-104.
- Menke, A.B., Carvalho Júnior, O.A., Gomes, R.A.T., Martins, E.S., Oliveira, S.N. 2009. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luís Eduardo Magalhães (BA - Brasil). *Soc. Nat.* 21, 315-326. doi: 10.1590/S1982-45132009000300007
- Metzger, J.P. 2002. Bases biológicas para a 'reserva legal'. *Ciência Hoje*, 31(183), 48-49.
- Metzger, J.P. 2010. O Código Florestal tem base científica? *Conserv. Nat.* 8(1), 92-99. doi: 10.4322/natcon.00801017
- Metzger, J.P., Lewinsohn, T.M., Joly, C.A., Verdade, L.M., Martinelli, L.A., Rodrigues, R.R. 2010. Brazilian Law: full speed in reverse? *Science*, 329(5989), 276-277. doi: 10.1126/science.329.5989.276-b
- MMA, 2015. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação: dados consolidados. Available at: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-consolidados>> (Accessed 010.11.15).

- MMA. 2002. Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília, MMA/SBF. 404p. Available at: <[http://www.biodiversidade.rs.gov.br/arquivos/BiodiversidadeBrasileira\\_MMA.pdf](http://www.biodiversidade.rs.gov.br/arquivos/BiodiversidadeBrasileira_MMA.pdf)> (Accessed 25.09.15).
- MMA-IBAMA. 2011. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por Satélite. Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA. Monitoramento do Bioma Cerrado: 2009-2010. Available at: <[http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO%20FINAL\\_CERRADO\\_2010.pdf](http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO%20FINAL_CERRADO_2010.pdf)> (Accessed 25.09.15).
- Naiman, R.J., Decamps, H. 1997. The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 28, 621-658.
- Nolte, C., Agrawal, A., Silvius, K.M., Soares-Filho, B.S. 2013. Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 110, 4956-4961. doi: 10.1073/pnas.1214786110
- OECD/FAO. 2015. Overview of the OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024. In: OECD-FAO Agricultural Outlook 2015. OECD Publishing, Paris, pp. 21-59. doi: 10.1787/agr\_outlook-2015-en
- Oliveira, S.N., Carvalho Júnior, O.A., Gomes, R.A.T., Guimarães, R.F., Martins, E.S. 2014. Detecção de mudança do uso e cobertura da terra usando o método de pós-classificação na fronteira agrícola do Oeste da Bahia sobre o Grupo Urucuia durante o período 1988-2011. *Rev. bras. Cartogr.* 66, 1157-1176.
- Oliveira, S.N., Carvalho Júnior, O.A., Gomes, R.A.T., Guimarães, R.F., McManus, C.M. (submitted). 2015. Landscape-fragmentation change detection from agricultural expansion in the Brazilian savanna, Western Bahia, Brazil (1988-2011). *Reg Environ Change*.
- Payés, A.C.L.M., Pavão, T., Santos, R.F. 2013. The conservation success over time: Evaluating the land use and cover change in a protected area under a long re-categorization process. *Land Use Policy*, 30, 177-185. doi: 10.1016/j.landusepol.2012.03.004

- Pereira, P.A.A., Martha Jr, G.B., Santana, C.A.M, Alves, E. 2012. The development of Brazilian agriculture: future technological challenges and opportunities. *Agriculture & Food Security*, 1(4), 1-12.
- Rada, N.E. 2013. Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle: an update. *Brazilian Review of Economics & Agribusiness*, 11(1), 1-38.
- Ratter, J.A., Bridgewater, S., Ribeiro, J.F. 2003. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation iii: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, 60(1), 57-109.
- Ratter, J.A., Bridgewater, S., Ribeiro, J.F., Dias, T.A.B., Silva, M.R. 2000. Estudo preliminar da distribuicao das especies lenhosas da fitofisionomia Cerrado sentido restrito nos estados compreendidos pelo bioma Cerrado. *Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer*, 5, 5-43.
- Reatto, A., Bruand, A., de Souza Martins, E., Muller, F., da Silva, E. M., de Carvalho jr, O. A., BROSSARD, M., Richard, G. 2009. Development and origin of the microgranular structure in Latosols of the Brazilian Central Plateau: significance of texture, mineralogy, and biological activity. *Catena*, 76(2), 122-134. doi: 10.1016/j.catena.2008.10.003
- Sabino-Marques, H., Mira, A. 2011. Living on the verge: are roads a more suitable refuge for small mammals than streams in Mediterranean pastureland? *Ecol. Res.* 26, 277-287. doi: 10.1007/s11284-010-0781-4
- Sano, E.E., Santos, C.C.M., Silva, E.M., Chaves, J.M. 2011. Fronteira agrícola do Oeste Baiano: considerações sobre os aspectos temporais e ambientais. *Geociências*, 30, 479-489.
- Seebach, L., Strobl, P., Vogt, P., Mehl, W., San-Miguel-Ayanz, J. 2013. Enhancing post-classification change detection through morphological post-processing – a sensitivity analysis. *Int J Remote Sens.* 34(20), 7145-7162. doi: 10.1080/01431161.2013.815382
- Soille, P., Vogt, P. 2009. Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern Recogn. lett.* 30, 456-459. doi: 10.1016/j.patrec.2008.10.015
- Spagnolo, T.F.O., Gomes, R.A.T., Carvalho Júnior, O.A., Guimarães, R.F., Martins, E.S., Couto Júnior, A.F. 2012. Dinâmica da expansão agrícola do município de São Desidério-BA entre os anos de 1984 a 2008, importante produtor nacional de soja, algodão e milho. *Geo UERJ*. 2, 603-618.

- Sparovek, G., Berndes, G., Barretto, A.G.O.P, Klug, I.L.F. 2012. The revision of the Brazilian Forest Act: increased deforestation or a historic step towards balancing agricultural development and nature conservation? *Environmental Science & Policy*, 16, 65-72. doi: 10.1016/j.envsci.2011.10.008
- Sparovek, G., Berndes, G., Klug, I.L.F., Barretto, A.G.O.P. 2010. Brazilian Agriculture and Environmental Legislation: Status and Future Challenges. *Environ. Sci. Technol.* 44, 6046-6053. doi: 10.1021/es1007824
- TNC. 2015. Cadastro Ambiental Rural - CAR: Nasce a Identidade do Imóvel Rural. Curitiba: The Nature Conservancy. 143p. Available at: <<http://www.nature.org/media/brasil/cadastro-ambiental-rural.pdf>> (Accessed 07.11.15).
- Townshend, J.R.G., Justice, C.O., Gurney, C., McManus, J. 1992. The impact of misregistration on change detection. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 30, 1054-1060. doi: 10.1109/36.175340
- Veríssimo, A., Rolla, A., Vedoveto, M., Futada, S.M. 2011. Áreas protegidas na Amazônia brasileira: avanços e desafios. Belém, Imazon, 87p.
- Vogt, P., Ferrari, J.R., Lookingbill, T.R., Gardner, R.H., Riitters, K.H., Ostapowicz, K. 2009. Mapping functional connectivity. *Ecol. Indic.* 9, 64-71. doi: 10.1016/j.ecolind.2008.01.011
- Vogt, P., Riitters, K.H., Estreguil, C., Kozak, J., Wade, T.G., Wickham, J.D. 2007b. Mapping spatial patterns with morphological image processing. *Landsc. Ecol.* 22, 171-177. doi: 10.1007/s10980-006-9013-2
- Vogt, P., Riitters, K.H., Iwanowski, M., Estreguil, C., Kozak, J., Soille, P. 2007a. Mapping landscape corridors. *Ecol. Indic.* 7, 481-488. doi: 10.1016/j.ecolind.2006.11.001

## CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese de doutorado proporcionou maior entendimento das mudanças espaço-temporais dos padrões de paisagem na região do Oeste da Bahia sobre a Formação do Grupo Urucuia e das principais implicações destas mudanças para a conservação do Cerrado na região.

A sistematização e complementação do banco de dados vetorial do uso e cobertura da Terra permitiu a realização da detecção de mudança por meio do método de pós-classificação. A análise das mudanças permitiu a caracterização das alterações nas classes mapeadas (agropecuária, reflorestamento, vegetação alterada e vegetação natural) entre os períodos estudados. O levantamento dos principais programas de linhas de crédito, de incentivos fiscais e dos dados do IBGE sobre a área plantada e a quantidade produzida no período de 1990 a 2012 certamente contribuiu para a compreensão da dinâmica de expansão da agricultura sobre as áreas de Cerrado nativo. O banco de dados vetorial do uso e cobertura da Terra também serviu para realizar as demais análises propostas na tese.

A opção por utilizar dois tipos de métricas de paisagem para analisar as mudanças na fragmentação (as métricas tradicionais e a análise morfológica) permitiu a caracterização das mudanças em nível geral da paisagem e em nível de classe morfológica. As métricas tradicionais permitem a caracterização da fragmentação em nível mais geral da paisagem, pois a maior parte delas são médias e medianas de toda a área estudada. As classes morfológicas, por serem geradas pixel a pixel, mantêm a informação espacial, o que viabilizou a caracterização das mudanças na fragmentação em nível de fração de habitat ou classe morfológica. Além disso, a adoção da abordagem temporal foi importante para a caracterização da fragmentação.

A quantificação da representatividade das Áreas de Preservação Permanente - APPs e das Unidades de Conservação - UCs (tanto as de Proteção Integral quanto as de Uso Sustentável) foi de grande importância para a tese. O cruzamento destes dados vetoriais com os de uso e cobertura da Terra permitiu a avaliação da eficácia da política ambiental brasileira em manter a vegetação natural da região, que conforme constatado, tem sido infrigida em diversas proporções nos diferentes lugares.

A utilização das métricas da Análise dos Padrões Espaciais Morfológicos para avaliar o potencial das APPs como corredores estruturais apresentou resultados interessantes. Este procedimento resultou na obtenção de dados quantitativos que demonstraram o impacto de cada intervenção na estrutura da paisagem. Em alguns cenários simulados, o aumento na área e na quantidade de manchas da classe *bridge* (pontes) indicou aumento na conectividade estrutural da paisagem. Em outros cenários, houve redução na fração *bridge* (ponte), entretanto, houve aumento nas áreas de núcleo e redução na área e no número de ilhas e de borda, o que indica que a intervenção reduziu os níveis de fragmentação da paisagem. Por outro lado, a simulação dos cenários revelou que o impacto das APPs na melhoria da conectividade estrutural da paisagem pode ser influenciado por alguns fatores: (a) densidade de APPs na área; (b) total de área a ser recuperada; (c) largura do corredor; (d) direção preferencial dos cursos d'água; (e) padrão de ocupação da área; (f) padrão da área a ser recuperada; e (g) tamanho do pixel do arquivo raster utilizado na obtenção das classes da MSPA.

A flexibilidade na demarcação das áreas de Reserva Legal (RL) previstas na legislação brasileira pode auxiliar no alargamento das faixas de APPs e até mesmo ampliar as zonas de amortecimento das Unidades de Conservação, o que pode ser uma alternativa para a conservação de áreas frágeis não amparadas na legislação brasileira como os solos hidromórficos e as zonas úmidas ripárias fora das regiões de veredas.

As Unidades de Conservação estão concentradas principalmente na parte norte e sul da área de estudo, o que demonstra a necessidade de se criar Áreas Protegidas na parte central do Oeste da Bahia. Considerando o padrão de drenagens da região (oeste-leste) é importante que as novas Unidades de conservação da parte central da área de estudo cubra pontos de confluência de rios e ocupem áreas no sentido norte-sul para interligar corredores locais formados pelas APPs. Além disso, na faixa norte-sul do extremo oeste desta área (que atualmente está praticamente tomada pela agricultura), seria importante demarcar Reservas Legais junto às APPs de borda de chapada, ampliando-se assim, a conectividade no sentido norte-sul.

Em termos gerais, as várias simulações realizadas a partir das métricas morfológicas da estrutura da paisagem demonstraram que as leis ambientais brasileiras (APPs, RL e UCs), representam um significativo avanço na conservação ambiental. Entretanto, é necessário melhorar a sua eficiência. Planejar a preservação e a conservação ambiental na paisagem como um todo, e não apenas nas propriedades rurais de forma individualizada como tem sido feito, pode contribuir para esta melhoria.



Os procedimentos utilizados nesta tese contribuem significativamente para o planejamento ambiental em nível geral e local da paisagem e podem ser aplicados sistematicamente em outras áreas. Além disso, as bases de dados geradas podem ser atualizadas periodicamente, o que permite o monitoramento contínuo do impacto da ocupação humana nos padrões de paisagem.

## **ANEXO 1**

**Deteção de mudança do uso e cobertura da terra usando o método de pós-classificação na fronteira agrícola do Oeste da Bahia sobre o Grupo Urucua durante o período 1988-2011**

Sandro Nunes de Oliveira; Osmar Abílio de Carvalho Júnior; Roberto Arnaldo Trancoso Gomes; Renato Fontes Guimarães; Éder de Souza Martins.

**Artigo publicado na Revista Brasileira de Cartografia (2014) n. 66, v. 5, p. 1157-1176.**



Revista Brasileira de Cartografia (2014) Nº 66/5: 1157-1176  
 Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
 ISSN: 1808-0936

**DETECÇÃO DE MUDANÇA DO USO E COBERTURA DA TERRA  
 USANDO O MÉTODO DE PÓS-CLASSIFICAÇÃO NA FRONTEIRA  
 AGRÍCOLA DO OESTE DA BAHIA SOBRE O GRUPO URUCUIA  
 DURANTE O PERÍODO 1988-2011**

*Land-use and land-cover change detection using post-classification method in the  
 agricultural frontier of Western Bahia over the Urucuia Group during the period  
 1988-2011*

**Sandro Nunes de Oliveira<sup>1</sup>, Osmar Abílio de Carvalho Júnior<sup>2</sup>,  
 Roberto Arnaldo Trancoso Gomes<sup>2</sup>, Renato Fontes Guimarães<sup>2</sup>  
 & Éder de Souza Martins<sup>3</sup>**

**<sup>1</sup>Instituto Federal de Brasília - IFB  
 Campus Gama**

Lote 01, DF 480, Setor de Múltiplas Atividades - Cep: 72.429-005 - Gama, DF, Brasil.  
 sandro.oliveira@ifb.edu.br

**<sup>2</sup>Universidade de Brasília - UnB  
 Departamento de Geografia**

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte - Cep: 70.910-900 - Brasília, DF, Brasil.  
 osmarjr@unb.br, robertogomes@unb.br, renatofg@unb.br

**<sup>3</sup>EMBRAPA Cerrados**

BR-020, km 18 - Caixa postal: 08223, Cep: 73310-970 - Planaltina, DF, Brasil.  
 eder@cpac.embrapa.br

*Recebido em 07 de Outubro, 2013/ Aceito em 12 de Abril, 2014  
 Received on October 07, 2013/ Accepted on April 12, 2014*

**RESUMO**

Este artigo tem como objetivo detectar as mudanças da cobertura e uso da Terra ao longo do período 1988-2011, utilizando imagens de sensoriamento remoto para o Oeste da Bahia (Brasil Central). A área de estudo é restrita aos solos sobre o Grupo Urucuia (Cretáceo Superior), que é composta por arenitos continentais relacionados a ambiente desértico. Esta formação geológica gera áreas planas com predominância de Latossolos, caracterizado por textura média, excessivamente drenados e adequado para o desenvolvimento da agricultura intensiva e mecanizada. Portanto, esta área apresenta um dos maiores índices de crescimento da agricultura no bioma Cerrado. A detecção de mudança foi realizada pelo método de pós-classificação a partir de dados multitemporais do sensor TM-Landsat. A classificação de imagens através da interpretação visual identificaram seis classes de uso e cobertura da Terra: agropecuária, áreas urbanas, corpos d'água, reflorestamento, vegetação alterada e vegetação natural. A detecção de mudança foi feita a partir da tabulação cruzada entre as imagens bi-temporais. Durante o período, as principais alterações ocorreram nas

*de Oliveira S. N. et al.*

classes de vegetação natural (decréscimo de 26,57%) e agropecuária (27,13%). O avanço da agropecuária ocorreu principalmente em áreas de vegetação nativa.

**Palavras chaves:** Análise Multitemporal, Detecção de mudança, Pós-Classificação, Uso da Terra, Cobertura da Terra, Oeste da Bahia.

## ABSTRACT

This paper aims to detect land-cover and land-use changes over the period 1988-2011, using remote sensing imagery for Western Bahia (Central Brazil). The study area is restricted to soils over the Urucuia Group (Late Cretaceous), which is composed by continental sandstones related to desert environment. This geological formation generates flat areas with a predominance of Oxisols, characterized by medium texture, excessively drained and suitable for the development of intensive and mechanized agriculture. Therefore, this area has one of the highest rates of agricultural growth in the Cerrado biome. The change-detection was achieved using the post-classification method from multitemporal Landsat TM data. The image classification by visual interpretation identified six classes of land-use/ land-cover: agriculture and livestock, urban areas, water bodies, reforestation, altered vegetation and natural vegetation. The change-detection was made from the cross-tabulation between the bi-temporal images. During the period, major changes occurred in the natural vegetation classes (down 26.57%) and agriculture and livestock (27.13%). The advancement of agriculture and livestock was mainly on areas of native vegetation.

**Keywords:** Multitemporal Analysis, Change-detection, post-classification, land-use, land-cover, Western Bahia.

## 1. INTRODUÇÃO

As inovações tecnológicas e organizacionais na agricultura brasileira a partir da década de 1970 têm gerado modificações no bioma Cerrado (ABELSON & ROWE, 1987; NEPSTAD *et al.*, 1997; SANTANA, 2008). Estima-se que em 2002 cerca de 40% da área natural do Cerrado já havia sido convertida em outros tipos de uso da terra (SANO *et al.*, 2010). A importância do Cerrado está no fato de possuir a mais rica flora dentre as savanas do mundo, com alto nível de endemismo (RATTER *et al.*, 1997; SILVA & BATES, 2002), por ser uma área produtora de grãos (BRANNSTROM, 2005; JASINSKI *et al.*, 2005) e de formação de pastagens (FERREIRA *et al.*, 2013).

A região do Oeste da Bahia é atualmente uma das principais fronteiras agrícolas no bioma Cerrado (MMA, 2011), com a conversão de áreas de vegetação natural em cultivos agrícolas (BATISTELLA *et al.*, 2002; BRANNSTROM *et al.*, 2008; CASTRO *et al.*, 2013; FLORES *et al.*, 2012; GURGEL *et al.*, 2013; MENKE *et al.*, 2009; PINHEIRO, 2012; SANO *et al.*, 2011; SPAGNOLO *et al.*, 2012). Nesta região o maior avanço da agricultura ocorre sobre as rochas do Grupo Urucuia. Conforme Campos & Dardenne (1997a, b) o Grupo Urucuia é subdividido nas Formações Posse e Serra das Araras. A sucessão e associação faciológica sugere um ambiente de formação desértico controlado por um sistema

eólico com campos de dunas que se modifica para um sistema fluvial-eólico representado por lençóis arenosos (SPIGOLON & ALVARENGA, 2002). Esta formação geológica abriga o Sistema Aquífero Urucuia (SAU) que no período de recessão das chuvas é responsável pela regulação das vazões dos afluentes da margem esquerda do médio rio São Francisco e pela alimentação de nascentes de tributários da margem direita do rio Tocantins, na borda ocidental da Serra Geral de Goiás (GASPAR *et al.*, 2007). Sobre as rochas do Grupo Urucuia forma-se um terreno plano e solos com predomínio de Latossolos com textura média e boas condições de drenagem, sendo um ambiente propício para a implantação de agricultura mecanizada voltada para produtos agrícolas de exportação.

Neste contexto, o monitoramento da dinâmica da expansão agrícola é um fator fundamental para avaliar as mudanças ambientais e socioeconômicas da região. A detecção de mudança permite quantificar as alterações do uso e cobertura da Terra, utilizando um conjunto de dados multitemporais (SINGH, 1989). As imagens de satélite são adequadas para a quantificação das mudanças, uma vez que fornecem medidas consistentes e repetíveis em escala regional (KENNEDY *et al.*, 2007; QIN *et al.*, 2006).

O processamento de imagens multitemporais para a detecção de mudança pode ser

## Detecção de Mudança do Uso e Cobertura da Terra Usando o Método de Pós-Classificação

subdividido em dois tipos (LAMBIN, 1999; SILVA *et al.*, 2012): (a) modelo discreto, baseado em imagens bi-temporais, onde cada unidade espacial é representada por um único valor categórico e que é estável ao longo de um período de tempo; e (b) modelo contínuo, onde são empregadas séries temporais densas para descrever a trajetória da superfície e da dinâmica espacial.

Neste trabalho, a análise de mudança será realizada com base no processamento de imagens bi-temporais discretas. Uma vantagem do modelo discreto é que ele permite uma descrição simples e rápida da dinâmica espacial (SILVA *et al.*, 2012). O processamento digital de imagens bi-temporais pode ser subdividido em dois tipos: pré-classificação e pós-classificação (JENSEN *et al.*, 1993; YUAN *et al.*, 2005).

Os métodos de pré-classificação realizam inicialmente um realce digital das áreas onde ocorreram mudanças, considerando os dois tempos, e depois sobre este resultado realiza-se a classificação. Diferentes procedimentos de pré-classificação foram propostos, tais como: simples operações algébricas como divisão e razão de bandas temporais (HUDAK & WESSMAN, 2000; ELMORE *et al.*, 2000); análise de vetor de mudança (BOVOLO & BRUZZONE, 2007; CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2011), mistura espectral (ADAMS *et al.*, 1995; ELMORE *et al.*, 2000; TURAZI *et al.*, 2009), método de regressão (HEALEY *et al.*, 2006), análise de principais componentes (FUNG & LEDREW, 1987; DENG *et al.*, 2008), dentre outros.

O processamento de detecção de mudança pelo procedimento de pós-classificação realiza, inicialmente, a classificação individual de cada imagem temporal e depois efetua uma comparação das imagens por tabulação cruzada, com o propósito de identificar as áreas com mudança (HOWARTH & WICKWARE, 1981; MAS, 1999). Diferentes métodos de classificação são utilizados na detecção de mudança por pós-classificação, como a interpretação visual (LOVELAND *et al.*, 2002), classificadores supervisionados (FERREIRA *et al.*, 2010; LIU & ZHOU, 2004) ou não supervisionados (SILVA *et al.*, 2012). O método de pós-classificação possui como vantagem a menor influência dos efeitos atmosféricos e radiométricos (LU *et al.*, 2003). O grau de sucesso desta técnica depende da

precisão do registro das imagens (SINGH, 1989) e da confiabilidade da classificação (FULLER *et al.*, 2003). A técnica de pós-classificação tem sido utilizada na detecção de mudanças em zonas úmidas (SOLIMAN & SOUSSA, 2011), áreas de expansão agrícola (FLORES *et al.*, 2012; SPAGNOLO *et al.*, 2012), áreas urbanas (RAFIEE *et al.*, 2009; VANDE VOORDE *et al.*, 2007), desmatamento (LIU *et al.*, 2008), padrões de paisagem (HESSEL *et al.*, 2012; HUZUI, *et al.*, 2012); qualidade da água (HUIPING *et al.*, 2011), e no monitoramento do uso e cobertura da Terra (FULLER *et al.*, 2003).

O presente trabalho possui como objetivo detectar as mudanças espaciais do uso e cobertura da Terra pelo método de pós-classificação nas regiões sobre a formação geológica do Grupo Urucua, nos municípios do Oeste da Bahia, entre o período de 1988 a 2011. A área de estudo possui aproximadamente 7.559.783,69 hectares e inclui os municípios de Formosa do Rio Preto, Riachão das Neves, Barreiras, Luís Eduardo Magalhães, São Desidério, Baianópolis, Correntina, Jaborandi e Cocos (Figura 1).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Imagens utilizadas

No presente trabalho foram utilizadas imagens de dois sensores: (a) imagens de alta resolução espacial do sensor PRISM/ALOS; e (b) imagens do sensor TM/Landsat 5.

#### 2.1.1 Imagens PRISM/ALOS

O sensor PRISM (*Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping*) está a bordo do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) desenvolvido pela JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) (IGARASHI, 2001). Lançado em 24 de janeiro de 2006 possui órbita circular heliossíncrona, altitude de 691,65 km e resolução temporal de 46 dias (SAUNIER *et al.*, 2010).

As imagens pancromáticas utilizadas são de 8 bits e referentes ao produto 1B2 do sensor PRISM do período de 2007 a 2010, que são submetidas à calibração radiométrica e geométrica conforme a grade da projeção UTM. A largura da faixa de imageamento é de 35 km no modo de observação estereo e de 70 km em observação nadir, com resolução espacial de 2,5 m (JAXA, 2006).

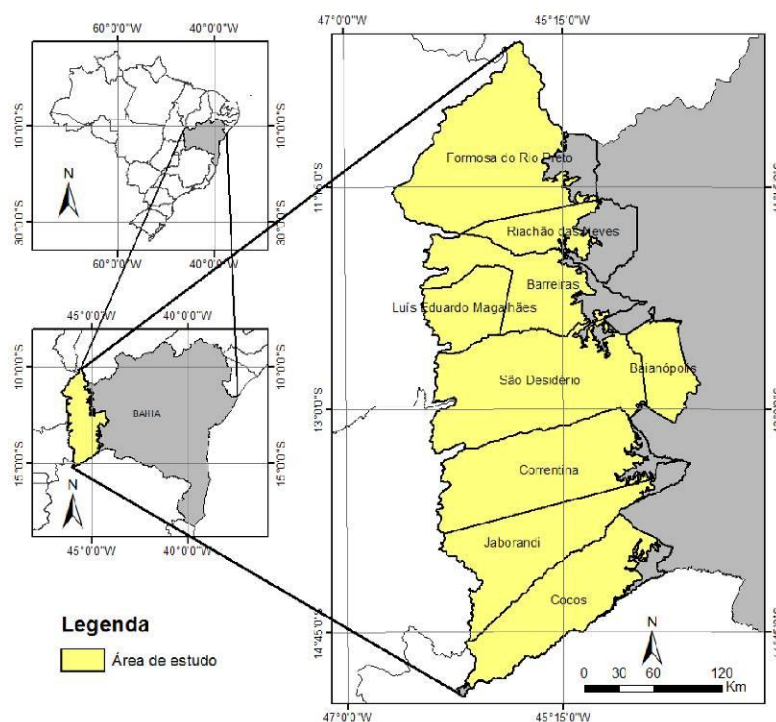


Fig. 1 - Mapa de localização da área de estudo.

### 2.1.2 Imagens TM/Landsat 5

O programa Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) foi desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) no início dos anos 70. O satélite Landsat 5, um dos oito do programa, foi lançado em 1984 e funcionou até o ano de 2013. O Landsat 5 possuía órbita polar circular heliossíncrona, altitude de 705 km, resolução temporal de 16 dias, largura da faixa de imageamento de 185 km e os sensores TM (*Thematic Mapper*) e MSS (*Multispectral Scanner System*) (NASA, 2014).

Neste trabalho foram utilizadas as imagens TM/Landsat 5 relativas às seis bandas da faixa do visível e infravermelho com resolução espacial de 30 metros dos anos de 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008 e 2011. Estas imagens foram adquiridas gratuitamente pelo site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo link: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>>. Na seleção das imagens foram adotados os seguintes critérios: a) preferência por imagens da estação seca; b) disponibilidade no banco de dados; e c)

quantidade de nuvens inferior a 10%. As órbitas/pontos e datas das imagens utilizadas estão listadas na **Tabela 1**.

Tabela 1: Órbita/ponto das imagens TM do Landsat 5 utilizadas.

Ano	Órbitas	Pontos	Data
1988	219	69/70	27 de agosto
	220	67/68/69/70	02 de agosto
	220	68/69/70	03 de setembro
	221	67/68	09 de agosto
1992	219	69/70	22 de agosto
	220	67	28 de julho
	220	68/69/70	13 de agosto
	220	68/69/70	14 de setembro
1996	221	67/68	03 de julho
	219	69	16 de julho
	219	69/70	29 de maio
	220	67/68	7 de julho
	220	68/69/70	21 de junho
2000	221	67	28 de junho
	221	68	14 de julho
	219	69/70	12 de agosto
	220	67/68	19 de agosto
	220	69	18 de julho
	220	68/69/70	16 de junho
	221	67/68	09 de julho



## Detecção de Mudança do Uso e Cobertura da Terra Usando o Método de Pós-Classificação

2004	219	69/70	23 de agosto
	220	67/68	01 de agosto
	220	68/69/70	27 de junho
	221	67/68	07 de julho
2008	219	69	02 de agosto
	219	70	03 de setembro
	220	67/68	24 de julho
	220	69/70	08 de julho
	220	70	10 de setembro
2011	221	67/68	16 de agosto
	219	69/70	10 de julho
	220	67/68	03 de setembro
	220	68/69/70	17 de julho
	221	67/68	08 de julho

### 2.2 Detecção de mudança pelo método de pós-classificação

A detecção de mudança foi realizada a partir de três etapas: a) classificação das imagens PRISM/ALOS; b) classificação das imagens TM/Landsat 5; e c) detecção e quantificação das mudanças.

#### 2.2.1 Classificação das imagens PRISM/ALOS

A classificação das imagens PRISM/ALOS dos anos de 2007 a 2010 foi realizada por meio de interpretação visual em tela e pela vetorização manual das classes no programa ArcGIS 9.3. O mapeamento foi realizado pelo Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE) da Universidade de Brasília (UnB) por meio do Projeto “Geoprocessamento e Cadastramento de Propriedades do Oeste Baiano” desenvolvido em parceria com o Instituto Interamericano de Comércio e Agricultura (IICA) e o Ministério da Integração Nacional.

Nesta etapa, outras imagens foram utilizadas para auxiliar na interpretação provenientes dos sensores TM/Landsat 5, CCD/CBERS 2 (*Couple Charged Device/China-Brazil Earth Resources Satellite*) e imagens de alta resolução espacial do *Google Earth*. O emprego de outras imagens permitiu a solução de diferentes problemas, tais como, presença de nuvens, distinção de padrões de uso da Terra e avaliação de diferenças entre imagens de datas distintas. Durante o período de mapeamento, também, foi realizado trabalho de campo para validação das classes e para a coleta de amostras de solo.

A interpretação das imagens do sensor PRISM/ALOS permitiu a identificação e mapeamento de 26 classes de uso e cobertura

da Terra (**Tabela 2**).

Tabela 2: Classes de uso e cobertura da Terra obtidas a partir das imagens PRISM/ALOS.

Classes de uso e cobertura da Terra	
Agricultura	Pequena Propriedade
Área Urbana	Piscicultura
Barreira de Vegetação	Pista de Pouso
Canal	Pivô Central
Captação de água	Planta Industrial
Carvoaria	Problema Ambiental
Cultura Permanente	Reflorestamento
Granja	Reservatório
Lagoa Cárstica	Sede de Propriedade
Loteamento	Uso Indefinido
Massa d'água	Vegetação Alterada
Minação	Vegetação Natural
Pecuária	Vila/Povoado

Entretanto, para viabilizar a retroanálise ao longo do tempo das imagens TM/Landsat 5 (com menor resolução espacial) foi realizada uma simplificação do mapeamento para 6 classes de uso e cobertura da Terra (**Tabela 3**). A simplificação das classes do mapeamento das imagens PRISM/ALOS não resultou em prejuízos à análise, uma vez que, proporcionalmente, a maioria delas possuía áreas irrelevantes.

Tabela 3: Classes de uso e cobertura da Terra utilizadas neste trabalho.

Classes de uso e cobertura da Terra	
Agropecuária	Reflorestamento
Áreas urbanas	Vegetação alterada
Corpos d'água	Vegetação natural

#### 2.2.2 Classificação das imagens TM/Landsat 5

Diferentes mapeamentos disponíveis na área de estudo relativos aos anos de 1988, 1992, 1996, 2000, 2004 e 2008 foram utilizados na presente pesquisa:

- **1984, 1988, 1992, 1996, 2000 e 2004:** São Desidério (SPAGNOLO *et al.*, 2012).
- **1988, 1992, 1996, 2000 e 2004:** Barreiras (FLORES *et al.*, 2012); Baianópolis (GUIMARÃES, 2012).
- **1988, 1992, 1996, 2000, 2004 e 2008:** Riachão das Neves (GURGEL *et al.*, 2013); Formosa do Rio Preto (CASTRO *et al.*, 2013); e Correntina (PINHEIRO, 2012).
- **1987, 1991, 1994, 1998, 2001, 2004, 2005 e 2007:** Luís Eduardo Magalhães (MENKE

et al., 2009).

- **1996, 2000, 2004 e 2008:** Cocos (HESSEL et al., 2012).

Os trabalhos supracitados foram elaborados a partir dos mesmos procedimentos: (a) correção geométrica das imagens TM com as imagens PRISM/ALOS para obter uma adequada sobreposição espacial; e (b) classificação por interpretação visual das classes de uso e cobertura da Terra.

Contudo, para a análise de todo o intervalo espacial e temporal proposto algumas informações ainda permanecem ausentes. Portanto, para completar o banco de dados foi realizada a classificação das imagens TM/Landsat 5, conforme os mesmos procedimentos dos trabalhos anteriores, para os seguintes locais e anos:

- toda área de estudo para o ano de 2011;
- município de Jaborandi para os anos de 1988, 1992, 1996, 2000, 2004 e 2008;
- município de Cocos para os anos de 1988 e 1992;
- municípios de Barreiras e São Desidério para o ano de 2008;
- município de Luís Eduardo Magalhães para os anos de 1988, 1992, 1996, 2000 e 2008.
- Em seguida, procedemos à padronização e junção dos dados, gerando-se os mapas unificados da área de estudo para os anos de 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008 e 2011.

### 2.2.3 Detecção e quantificação das mudanças

A detecção das mudanças foi realizada a partir da tabulação cruzada gerando uma imagem com os padrões de mudança e uma planilha com as respectivas áreas e porcentagens das áreas modificadas.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Dinâmica do uso e cobertura da Terra

O mapa de uso e cobertura da Terra do Oeste da Bahia elaborado a partir da interpretação visual das imagens PRISM/ALOS no período entre 2007-2010 é apresentado na **Figura 2**.

Observou-se que para esse período 65,66% da área de estudo era ocupada por vegetação natural (Cerrado), 28,09% por atividades agropecuárias, 0,72% por áreas de reflorestamento, 5,42% por vegetação alterada,

0,06% por corpos d'água e 0,04% por áreas urbanas. As áreas de agropecuária concentraram-se na porção oeste, enquanto que as áreas de vegetação natural predominam nas porções leste e sul. As áreas de reflorestamento concentram-se na porção sudoeste e as áreas de vegetação alterada estão espalhadas ao longo de toda área de estudo.

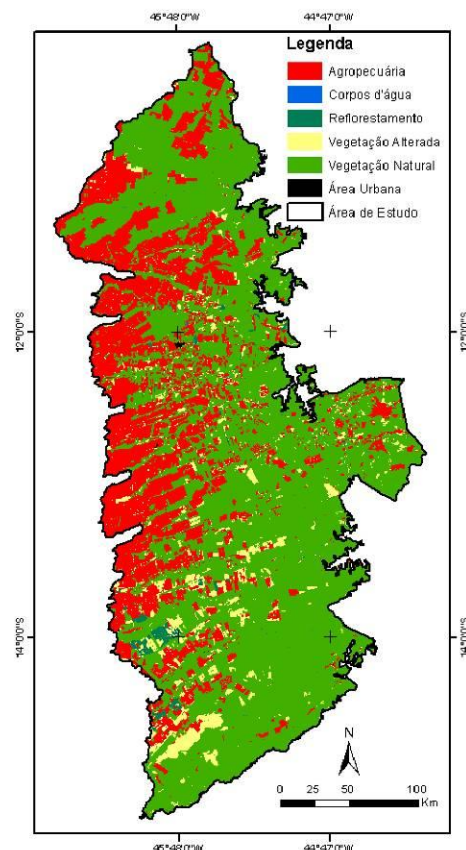


Fig. 2 - Mapa de uso e cobertura da Terra da área de estudo elaborado a partir da interpretação visual das imagens PRISM/ALOS dos anos de 2007-2010.

A **Figura 3** apresenta os mapas com a evolução temporal do uso e cobertura da Terra obtidos a partir da classificação manual das imagens TM/Landsat 5 ao longo de 23 anos (1988 a 2011). Os gráficos com as respectivas porcentagens de área de cada classe de uso e cobertura da Terra são apresentados nas **Figuras 4 e 5**.



### Detecção de Mudança do Uso e Cobertura da Terra Usando o Método de Pós-Classificação

Ao longo de todo o período em análise houve uma redução de 26,57% da área de cobertura de vegetação natural, passando de 89,41% em 1988 para 62,84% em 2011 (**Figura 4**). No período de 1988 a 1992 houve uma redução de 6,83% da área de vegetação natural. De 1992 a 1996, o ritmo de desmatamento diminuiu para 2,89%. De 1996 a 2000 a área desmatada aumentou para 3,58% e de 2000 a

2004 para 6,70%. No período de 2004 a 2008 houve uma redução no ritmo de desmatamento para 3,75% e de 2008 a 2011 para 2,82%. Isto representa uma taxa média de desmatamento de quase 1,16% ao ano. Cabe destacar, entretanto, que mesmo com as reduções frequentes, a região da fronteira agrícola do Oeste da Bahia ainda possui áreas significativas de vegetação natural.

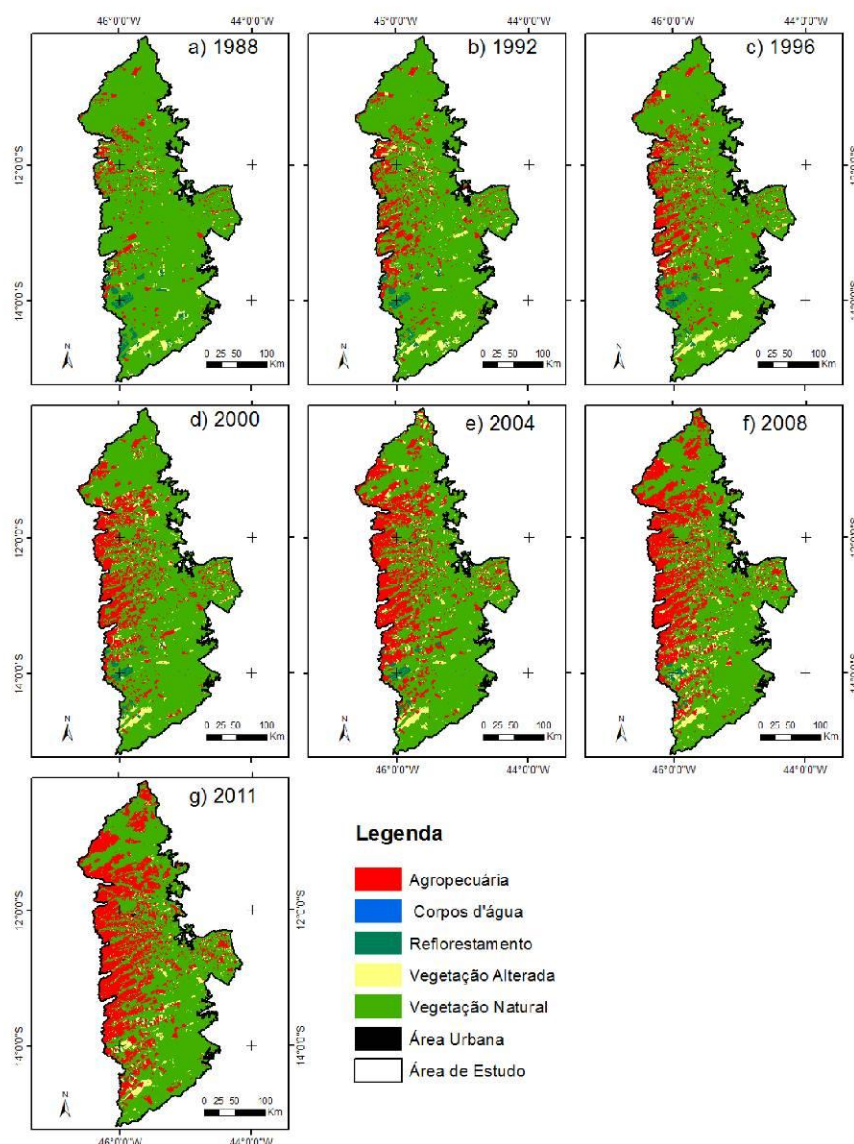


Fig. 3 - Evolução temporal do uso e cobertura da Terra obtida a partir da classificação manual das imagens TM/Landsat 5 do período de 1988 a 2011.

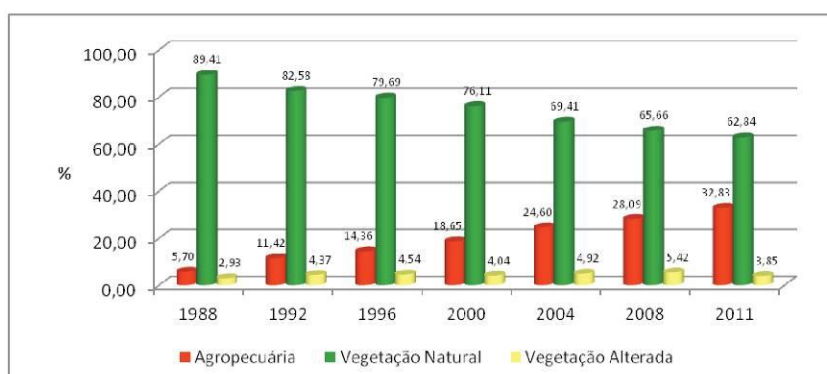


Fig. 4 - Gráfico com as porcentagens de área das classes: agropecuária, vegetação natural e vegetação alterada para a área de estudo.

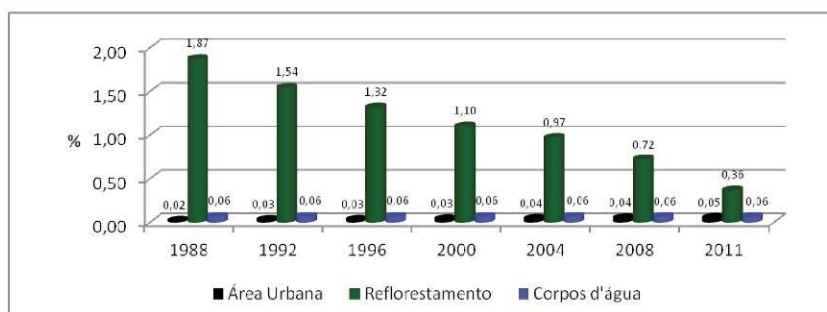


Fig. 5 - Gráfico com as porcentagens de área das classes: área urbana, reflorestamento e corpos d'água para a área de estudo.

Em contraposição à classe de vegetação natural, a agropecuária teve uma elevada taxa de crescimento (Figura 4). Em 1988 representava 5,70% da área de estudo, passando para 32,83% em 2011, com um aumento de área de 27,13%. Isto representou um incremento médio anual de 1,18%. No período de 1988 a 1992 houve um aumento de 5,72% na área da classe agropecuária (Figura 6). De 1992 a 1996 o ritmo de crescimento diminuiu para 2,94%. De 1996 a 2000 a área ocupada pela agropecuária aumentou para 4,29% e de 2000 a 2004 para 5,95%. No período de 2004 a 2008 houve uma redução para 3,50% e de 2008 a 2011 um aumento de 4,74%.

A vegetação alterada apresentou comportamento irregular ao longo do período (Figura 4). Em 1988 representava 2,93% da área total, subindo para 4,37% em 1992 e 4,54% em 1996. Em 2000 diminuiu para 4,04%, voltando a subir novamente para 4,92% em 2004 e 5,42%

em 2008. Em 2011 houve uma nova redução de área para 3,85%.

No período em análise, o reflorestamento teve uma redução de 1,51% em sua área total (Figura 5). Em 1988 representava 1,87% da área de estudo, valor que foi reduzindo ao longo do tempo para 1,54% em 1992, 1,32% em 1996, 1,10% em 2000, 0,97% em 2004, 0,72% em 2008 e 0,36% em 2011.

Proporcionalmente, a classe Área Urbana teve poucas alterações ao longo dos anos (Figura 5). Em 1988, representava 0,02% da área de estudo. Em 1992 aumentou para 0,03%, valor que permaneceu o mesmo até 2000. Em 2004 aumentou para 0,04%, permanecendo no mesmo patamar até 2008. Em 2011 aumentou para 0,05%.

E por fim, percentualmente, a classe corpos d'água não apresentou variações no período analisado (Figura 5).

Deteccção de Mudança do Uso e Cobertura da Terra Usando o Método de Pós-Classificação

### 3.2 Padrões das Áreas de Mudança

Os padrões de mudança da área de estudo estão apresentados nas **Figuras 6 e 7**. A **Figura 6** apresenta as mudanças ocorridas entre os períodos mapeados, enquanto a **Figura 7** sintetiza os intervalos de tempo a partir das datas de implantação dos principais programas para o desenvolvimento da fronteira agrícola do Oeste da Bahia. Até o ano de 1991, os principais programas de incentivo ao desenvolvimento da região estiveram voltados para a irrigação, redistribuição de terras, implantação de assentamentos rurais e estímulos financeiros, que inclui a agroindústria, indústria de insumos, máquinas, tratores e implementos agropecuários. Em 1991, a lei da política agrícola foi institucionalizada, ampliando-se as linhas de

crédito e a criação dos planos de safra. Em 2000-2001, o Governo do Estado da Bahia criou os programas de apoio ao agronegócio, em especial para o algodão e o café.

Observou-se que até no ano de 1992 a agropecuária representava 11,42% da área de estudo (863.327,30 ha) e concentrava-se na porção centro-oeste. Nos períodos seguintes, houve um avanço principalmente para as porções norte e sul, numa taxa de 7,23% (546.572,36 ha) de 1992 a 2000 e de 14,19% (1.072.733,31 ha) de 2000 a 2011. Verificou-se ainda, que na porção leste há uma área considerável sem a presença de agropecuária.

Os dados quantitativos das conversões das classes de uso e cobertura da Terra nos períodos analisados são apresentados nas **Tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9**.

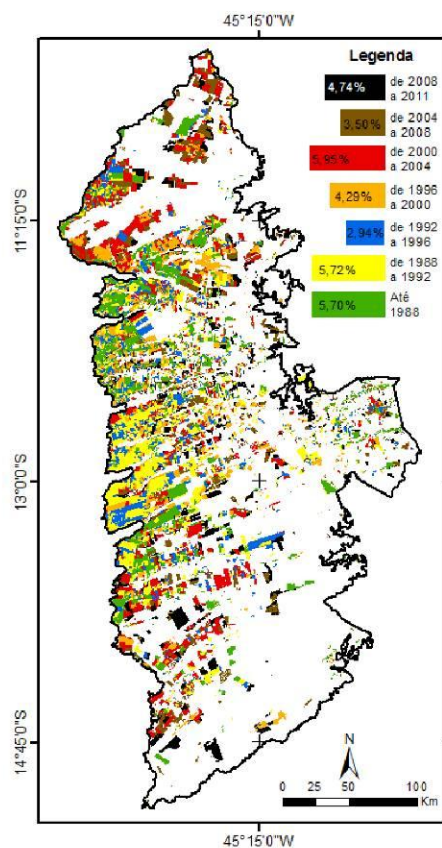


Fig. 6 - Mapa de detecção de mudança da agropecuária na área de estudo entre os períodos do mapeamento.

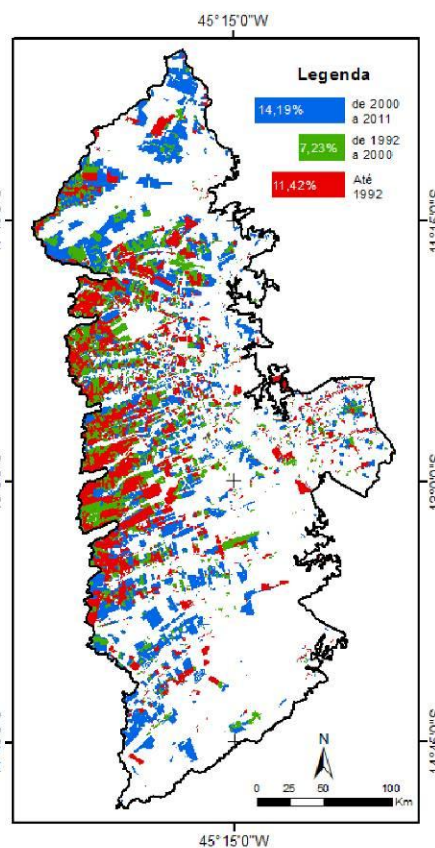


Fig. 7- Mapa de padrões das áreas de mudança da agropecuária na área de estudo.



de Oliveira S. N. et al.

Com exceção das áreas urbanas e corpos d'água, todas as demais classes tiveram parte de suas áreas convertidas em outros tipos de uso e cobertura da Terra.

A agropecuária teve áreas significativas convertidas em outras classes no período de 1988 a 2008, sendo que de 1992 a 1996 a conversão chegou a 10,49% (Tabela 5). Em todos os períodos analisados, a agropecuária foi convertida principalmente em vegetação alterada e vegetação natural. Por outro lado, a expansão das áreas de agropecuária ocorreu a partir das mudanças presentes nas classes de vegetação natural, vegetação alterada e reflorestamento. Portanto, o avanço da agropecuária na fronteira agrícola do Oeste da Bahia ocorreu tanto em áreas naturais de Cerrado quanto em áreas já ocupadas anteriormente.

A vegetação natural teve áreas significativas

convertidas em outras classes durante todo o período estudado, sendo que de 2000 a 2004 a conversão chegou a 10,43% (Tabela 7). As conversões foram principalmente para as classes de agropecuária e vegetação alterada. Com exceção das áreas urbanas, todas as demais classes tiveram áreas convertidas em vegetação natural.

A vegetação alterada e o reflorestamento tiveram as maiores taxas de conversão em todos os anos analisados (Tabelas 4 a 9). O reflorestamento foi convertido principalmente em vegetação alterada e agropecuária, enquanto que a classe de vegetação alterada foi convertida em agropecuária e vegetação natural.

Os corpos d'água tiveram comportamento irregular ao longo do tempo, sendo convertidos principalmente em vegetação natural e vegetação alterada.

Tabela 4: Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 1988 a 1992.

Dados em porcentagem (%)		Classes em 1988 (%)					
		Agropecuária	Áreas Urbanas	Corpos d'água	Reflorestamento	Vegetação Alterada	Vegetação Natural
Classes em 1992 (%)	Agropecuária	<b>91,04</b>	0,00	0,00	0,17	14,86	6,48
	Áreas Urbanas	0,03	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,01	0,01
	Corpos d'água	0,00	0,00	<b>99,86</b>	0,00	0,00	0,01
	Reflorestamento	0,01	0,00	0,00	<b>78,87</b>	1,62	0,02
	Vegetação Alterada	5,20	0,00	0,09	20,82	<b>67,29</b>	1,91
	Vegetação Natural	3,72	0,00	0,05	0,14	16,23	<b>91,57</b>
Total da classe		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mudanças na Classe		8,97	0,00	0,14	21,13	32,72	8,42

Tabela 5 - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 1992 a 1996.

Dados em porcentagem (%)		Classes em 1992 (%)					
		Agropecuária	Áreas Urbanas	Corpos d'água	Reflorestamento	Vegetação Alterada	Vegetação Natural
Classes em 1996 (%)	Agropecuária	<b>89,52</b>	0,00	0,00	1,22	13,62	4,27
	Áreas Urbanas	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
	Corpos d'água	0,00	0,00	<b>99,83</b>	0,00	0,01	0,00
	Reflorestamento	0,04	0,00	0,00	<b>81,82</b>	0,56	0,03
	Vegetação Alterada	4,63	0,00	0,05	16,09	<b>64,78</b>	1,14
	Vegetação Natural	5,81	0,00	0,12	0,87	21,03	<b>94,56</b>
Total da classe		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mudanças na Classe		10,49	0,00	0,17	18,18	35,22	5,43

## Detecção de Mudança do Uso e Cobertura da Terra Usando o Método de Pós-Classificação

Tabela 6 - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 1996 a 2000.

Dados em porcentagem (%)		Classes em 1996 (%)					
		Agropecuária	Áreas Urbanas	Corpos d'água	Reflorestamento	Vegetação Alterada	Vegetação Natural
Classes em 2000 (%)	Agropecuária	<b>91,81</b>	0,00	0,01	3,25	20,29	5,64
	Áreas Urbanas	0,01	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,08	0,00
	Corpos d'água	0,00	0,00	<b>99,51</b>	0,00	0,01	0,01
	Reflorestamento	0,02	0,00	0,00	<b>79,97</b>	0,55	0,03
	Vegetação Alterada	3,03	0,00	0,11	12,68	<b>41,33</b>	1,96
	Vegetação Natural	5,13	0,00	0,39	4,10	37,74	<b>92,36</b>
Total da classe		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mudanças na Classe		8,19	0,00	0,51	20,03	58,67	7,64

Tabela 7 - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 2000 a 2004.

Dados em porcentagem (%)		Classes em 2000 (%)					
		Agropecuária	Áreas Urbanas	Corpos d'água	Reflorestamento	Vegetação Alterada	Vegetação Natural
Classes em 2004 (%)	Agropecuária	<b>94,43</b>	0,00	0,02	7,85	31,32	7,40
	Áreas Urbanas	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,01
	Corpos d'água	0,00	0,00	<b>99,64</b>	0,00	0,02	0,01
	Reflorestamento	0,10	0,00	0,00	<b>79,62</b>	0,73	0,06
	Vegetação Alterada	2,30	0,00	0,13	10,67	<b>52,35</b>	2,96
	Vegetação Natural	3,17	0,00	0,21	1,86	15,58	<b>89,56</b>
Total da classe		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mudanças na Classe		5,57	0,00	0,36	20,38	47,65	10,43

Tabela 8 - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 2004 a 2008.

Dados em porcentagem (%)		Classes em 2004 (%)					
		Agropecuária	Áreas Urbanas	Corpos d'água	Reflorestamento	Vegetação Alterada	Vegetação Natural
Classes em 2008 (%)	Agropecuária	<b>94,23</b>	0,00	0,02	6,60	27,02	5,07
	Áreas Urbanas	0,01	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,01	0,00
	Corpos d'água	0,00	0,00	<b>99,91</b>	0,00	0,03	0,02
	Reflorestamento	0,15	0,00	0,00	<b>64,23</b>	0,61	0,05
	Vegetação Alterada	3,85	0,00	0,07	26,47	<b>46,76</b>	2,76
	Vegetação Natural	1,76	0,00	0,00	2,70	25,57	<b>92,10</b>
Total da classe		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mudanças na Classe		5,77	0,00	0,09	35,77	53,24	7,91

Tabela 9 - Detecção de mudança das classes de uso e cobertura da Terra de 2008 a 2011.

Dados em porcentagem (%)		Classes em 2008 (%)					
		Agropecuária	Áreas Urbanas	Corpos d'água	Reflorestamento	Vegetação Alterada	Vegetação Natural
Classes em 2011 (%)	Agropecuária	<b>99,68</b>	0,00	0,03	11,78	36,29	4,23
	Áreas Urbanas	0,01	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,01	0,00
	Corpos d'água	0,00	0,00	<b>99,96</b>	0,00	0,00	0,00
	Reflorestamento	0,03	0,00	0,00	<b>48,92</b>	0,08	0,00
	Vegetação Alterada	0,06	0,00	0,00	39,24	<b>59,77</b>	0,48
	Vegetação Natural	0,22	0,00	0,01	0,06	3,85	<b>95,29</b>
Total da classe		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mudanças na Classe		0,31	0,00	0,04	51,09	40,23	4,71

#### 4. DISCUSSÕES

A dinâmica da ocupação da terra na fronteira agrícola do Oeste da Bahia sobre o Grupo Urucuia está relacionada com a evolução das políticas públicas agrícolas e as variações na economia nacional e internacional (BRANNSTROM, 2005; MENKE *et al.*, 2009). Dentre os principais atores institucionais responsáveis pela criação e realização de ações que influenciaram no desenvolvimento da área em estudo, destacam-se:

- **Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio (MAIC)** - criado em 1909 tinha uma ampla gama de atuação. Ao longo dos anos teve várias alterações em seu nome e nas suas atribuições. Em 2001 a denominação passou a ser Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Atualmente é o órgão responsável pela gestão da política agrícola nacional.
- **Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE)** - criada em 1959 tinha uma vasta gama de atuação. Foi extinta em 2001 e substituída pela ADENE (Agência de Desenvolvimento do Nordeste). Em 2007 a ADENE foi extinta e recriou-se a SUDENE. Foi importante na expansão e modernização da infraestrutura de transportes e energia. Também atuou na implantação, ampliação e modernização de empreendimentos com base na concessão de incentivos de isenção total ou parcial do imposto de renda.
- **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)** - criada em 1973 contribuiu de forma decisiva para o domínio da tecnologia de manejo dos solos do Cerrado.
- **Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf)** - criada em 1974, tem como objetivo promover o desenvolvimento da região utilizando os recursos hídricos com ênfase na irrigação.
- **Companhia de Promoção Agrícola (CAMPO)** - criada em 1978, esta empresa tem o objetivo de desenvolver o potencial agrícola da região do Cerrado brasileiro.
- **Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Reforma Agrária, Pesca e Aquicultura da Bahia (Seagri)** - desvinculada da secretaria de Indústria e Comércio do governo da Bahia no início da década de 1980, atuou principalmente no desenvolvimento de programas voltados para a agropecuária, irrigação e agricultura familiar.
- **Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA)** - criada em 1990, atualmente possui mais de 1.300 associados. Atua na área de pesquisa e tecnologia.
- **Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA)** - criada em 1991 a partir da fusão entre a Empresa de Pesquisa Agropecuária da Bahia (EPABA) e a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural da Bahia (Emater-BA), atua principalmente na pesquisa e fomento da agropecuária e na assistência técnica e extensão rural.
- **Superintendência de Recursos Hídricos da**

### Detecção de Mudança do Uso e Cobertura da Terra Usando o Método de Pós-Classificação

**Bahia (SRH)** - criada em 1995 foi o órgão responsável pela outorga de uso da água para irrigação até o ano de 2008 quando foi substituída pelo Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ). Em 2011 a outorga de uso da água passou a ser de responsabilidade do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (Inema).

Ao longo do tempo, várias ações e programas contribuíram para o desenvolvimento da agropecuária na região da fronteira agrícola do Oeste da Bahia, destacando-se:

- **Institucionalização do crédito rural** - criado pela lei federal nº 4.829 de 5 de novembro de 1965, regulamenta o custeio, os investimentos, a comercialização e a industrialização de produtos agropecuários.
- **Programa de Redistribuição de Terras e de Estímulo à Agroindústria do Norte e do Nordeste (PROTERRA)** - criado pelo Decreto-lei nº 1.179 de 6 de julho de 1971, utilizava de incentivos fiscais para promover o acesso do homem à terra, criar melhores condições de emprego de mão-de-obra e fomentar a agroindústria.
- **Programa de Assistência Financeira à Agroindústria e a Indústria de Insumos, Máquinas, Tratores e Implementos Agropecuários (PAFAI)** - criado pelo governo federal em 1971, concedia créditos com juros diferenciados para ampliar a oferta de insumos, máquinas, tratores e implementos necessários ao setor rural, bem como oferecer condições de beneficiamento e industrialização dos produtos agropecuários das regiões abrangidas pelo PROTERRA.
- **Programa de Desenvolvimento da Agroindústria do Nordeste (PDAN)** - instituído pelo Conselho de Desenvolvimento Econômico em 1974, a sua execução ficou a cargo da SUDENE e do Banco do Nordeste, mediante taxas de juros subsidiadas.
- **Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER)** - criado em 1978 por meio de um acordo de cooperação entre o Brasil e o Japão é coordenado pela Companhia de Promoção Agrícola (CAMPO). Na região do Oeste da Bahia, a segunda etapa deste projeto (PRODECER II) foi desenvolvida no município de Formosa do Rio Preto, que em 1985 iniciou a implantação de assentamentos rurais.
- **Programa de Financiamento de Equipamentos de Irrigação (PROFIR)** - criado pelo Decreto federal nº 86.912, de 10 de fevereiro de 1982, tinha como objetivo principal aumentar a produção e a produtividade da agricultura nacional de alimentos básicos. Foi executado por intermédio de linha especial de financiamento à aquisição e à implantação de equipamentos de irrigação.
- **Programa Nacional de Irrigação (PRONI)** - criado pelo Decreto federal nº 92.395 de 12 de fevereiro de 1986 tinha o objetivo de executar a Política Nacional de Irrigação. O decreto de criação deste programa foi revogado em fevereiro de 1991.
- **Programa de Irrigação do Nordeste (PROINE)** - criado pelo Decreto federal nº 92.344 de 29 de janeiro de 1986, foi implementado pela SUDENE.
- **Instituição da política agrícola** - institucionalizada pela lei federal nº 8.171 de 17 de janeiro de 1991, suas ações concentram-se em três linhas de atuação: gestão do risco rural, crédito e comercialização. Esta lei estabelece ainda a criação dos planos de safra, que com o passar do tempo, adquiriram montantes significativos de recursos financeiros.
- **Programa de Investimento para Modernização da Agricultura Baiana (AGRINVEST)** - criado pelo Decreto estadual nº 7.749 de 21 de janeiro de 2000 tem o objetivo de fomentar projetos dos setores agropecuário, agroindustrial e pesqueiro. Através deste Programa, o Governo da Bahia assume o pagamento de 50% dos custos financeiros dos financiamentos, durante o período de carência, limitados a 6% ao ano.
- **Programa de Desenvolvimento da Cafeicultura do Oeste do Estado da Bahia (PRODECAF)** - criado em 2000 pelo governo do estado da Bahia, tem o objetivo de desenvolver ações integradas de assistência técnica, gerencial e de crédito.
- **Programa de Incentivo ao Algodão na Região Oeste do Estado da Bahia (PROALBA)** - criado pela lei estadual

nº 7.932 de 19 de setembro de 2001 tem o objetivo de recuperar e desenvolver a cultura do algodão no território baiano, em especial quanto à modernização tecnológica. Este programa concede a redução de até 50% do ICMS incidente sobre o valor da comercialização do algodão em pluma, desde que o produtor obedeça a critérios de manejo da lavoura e qualidade da produção, pré-estabelecidos.

A detecção das mudanças no uso e cobertura da Terra na fronteira agrícola do Oeste da Bahia entre os anos de 1988 e 2011 demonstrou o resultado das ações e programas de incentivo agrícola, que proporcionaram um aumento das áreas de agropecuária e a redução das áreas de vegetação natural (**Figuras 3 e 4**). Além disso, as áreas de agropecuária, que inicialmente ocorriam de forma esparsa na paisagem, com o tempo, progrediram para extensas manchas contínuas, onde inexitem áreas naturais preservadas em seu interior (**Figuras 3 e 7**). Outro aspecto importante é que em termos de área total, o avanço da agropecuária se deu principalmente sobre as áreas de vegetação natural, compostas predominantemente por Cerrado nativo (SANTANA *et al.*, 2010).

As ações e programas, em especial o PROFIR (implementado em 1982), PRONI e PROINE (implementados em 1986), também contribuíram para o aumento das áreas de irrigação na região da fronteira agrícola do Oeste da Bahia. No município de Barreiras, o número de pivôs centrais passou de 9 em 1988 para 302 em 2008, o que corresponde a cerca de 3,87% de sua área total (FLORES *et al.*, 2012). O município de Luís Eduardo Magalhães não possuía nenhum pivô central em 1987 e em 2008 possuía 126, o que corresponde a aproximadamente 3% de sua área total (MENKE *et al.*, 2009). O aumento no número de pivôs centrais também foi identificado nos municípios de São Desidério (SPAGNOLO *et al.*, 2012) e Correntina (PINHEIRO, 2012), que passaram de 8 e 2 pivôs centrais em 1988 para 254 e 56 em 2008, respectivamente.

Os dados oficiais do IBGE sobre a área plantada e a quantidade produzida para o algodão herbáceo em caroço, milho, soja, arroz, café e

feijão no período 1990-2012 demonstram os impactos de todos esses programas de incentivos fiscais e de linhas de crédito na expansão das áreas agrícolas (**Figuras 8, 9, 10 e 11**).

A área plantada de soja passou de 195.000 hectares em 1990 para 1.109.707 hectares em 2012 (**Figura 8**). A quantidade produzida também evoluiu no período, passando de 220.402 toneladas em 1990 para 3.204.038 toneladas em 2012 (**Figura 9**).

O crescimento da área plantada de algodão herbáceo em caroço foi mais acentuado a partir do ano de 2000 (**Figura 8**), após a criação dos programas AGRINVEST e PROALBA. Em 1990 eram apenas 761 hectares, em 1999 eram 14.000 hectares e em 2012 alcançou os 382.926 hectares. A quantidade produzida passou de 1.284 toneladas em 1988 para 1.244.971 toneladas em 2012 (**Figura 9**). Os dados do IBGE (2014) indicam que em 2012 o valor da produção do algodão foi de dois bilhões e setecentos milhões de reais, valor superior ao da soja.

A área plantada de milho apresenta pequenas variações ao longo do período analisado, mas em termos gerais, o crescimento foi quase constante, passando de 15.853 hectares em 1990 para 163.544 hectares em 2012 (**Figura 8**). A quantidade produzida aumentou de 20.476 toneladas em 1990 para 1.749.247 toneladas em 2012 (**Figura 9**).

O Programa de Desenvolvimento da Cafeicultura do Oeste do Estado da Bahia (PRODECAF) contribuiu para a ampliação e consolidação das áreas de plantio de café (**Figura 10**). De 1990 a 1995 não havia registro de área plantada na região. Em 1996 surgiram 100 hectares, passando para 7.215 hectares em 1999 e 13.144 hectares em 2012. A quantidade produzida apresenta variações ao longo do período, sendo que em 2012 foi de 30.883 toneladas (**Figura 11**).

A área plantada de feijão também teve variações no período analisado (**Figura 10**). Em 1990 eram 11.053 hectares. Em 1993 aumentou para 41.815 hectares. No período de 1994 a 2007 há uma redução significativa na área plantada, que volta a crescer em 2008. A quantidade produzida acompanha as oscilações da área plantada (**Figura 11**).



### Deteção de Mudança do Uso e Cobertura da Terra Usando o Método de Pós-Classificação

Em sentido contrário, a área plantada de arroz teve redução no período analisado (**Figura 10**). Em 1990 eram 24.017 hectares, aumentando para 67.285 hectares em 1992. A partir de 1992

inicia-se a redução na área plantada, restando 11.896 hectares em 2012. A quantidade produzida teve uma das maiores variações dentre as culturas analisadas (**Figura 11**).

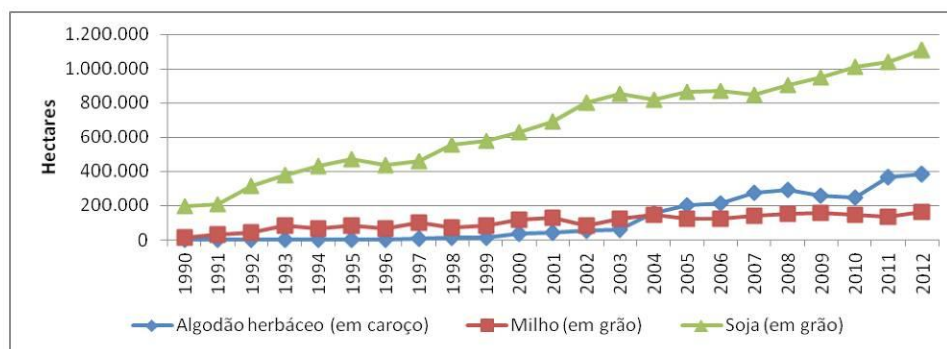


Fig. 8 - Área plantada de algodão, milho e soja na área de estudo de 1990 a 2012. Fonte: IBGE, 2014.

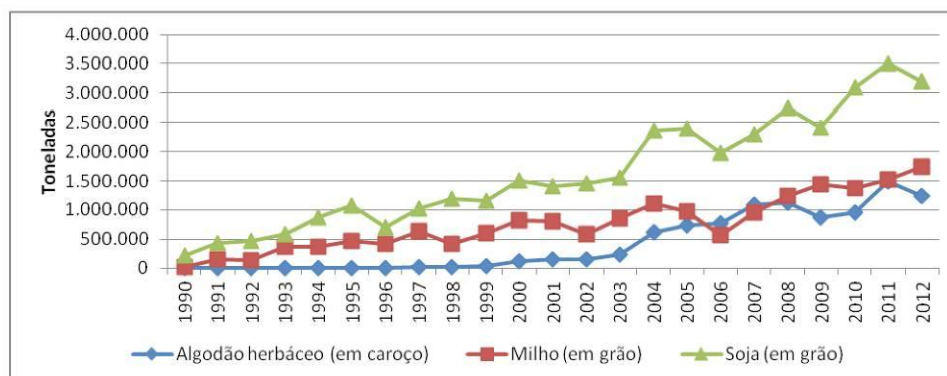


Fig. 9 - Quantidade produzida de algodão, milho e soja na área de estudo de 1990 a 2012. Fonte: IBGE, 2014.

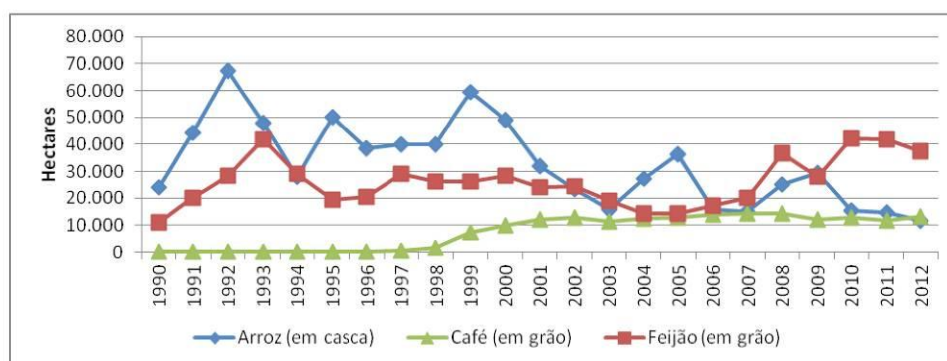


Fig. 10 - Área plantada de arroz, café e feijão na área de estudo de 1990 a 2012. Fonte: IBGE, 2014.

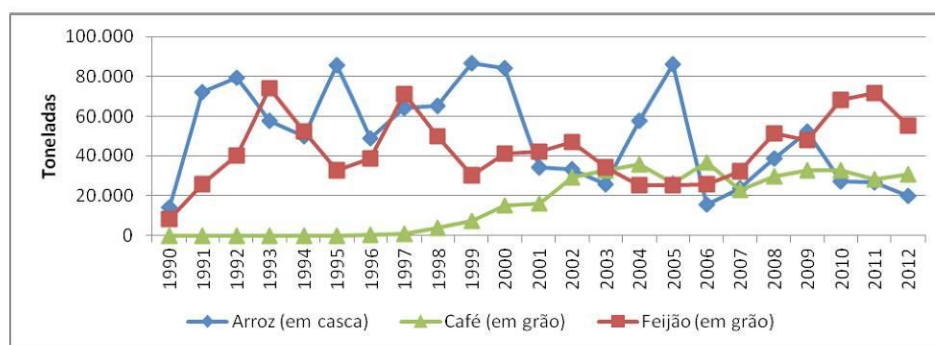


Fig. 11 - Quantidade produzida de arroz, café e feijão na área de estudo de 1990 a 2012. Fonte: IBGE, 2014.

Por fim, cabe destacar, que a região da fronteira agrícola do Oeste da Bahia sobre o Grupo Urucuia ainda possui áreas significativas de vegetação natural, que é composta principalmente por Cerrado nativo (Figuras 3 e 4). Entretanto, a rápida expansão das atividades agropecuárias pode comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas locais e a recarga do Sistema Aquífero Urucuia.

Segundo Gaspar *et al.* (2007) além de regular a vazão dos afluentes da margem esquerda do médio rio São Francisco e das nascentes dos tributários da margem direita do rio Tocantins na borda ocidental da Serra Geral de Goiás, a água subterrânea do Sistema Aquífero Urucuia tem sido progressivamente procurada como fonte de abastecimento, haja vista a baixa densidade de drenagem da região e a crescente demanda de água para o suprimento das sedes de fazendas, vilarejos e projetos de irrigação.

Diante disso, faz-se necessário a realização de novos estudos para avaliar a situação das unidades de conservação, das áreas de preservação permanente e do nível de fragmentação do Cerrado. Estes estudos podem auxiliar na proposição de corredores ecológicos locais e regionais, contribuindo assim, para a manutenção da biodiversidade local e para a preservação das áreas de recarga do Sistema Aquífero Urucuia.

## 5. CONCLUSÃO

A detecção de mudança por meio do método de pós-classificação permitiu a caracterização e a

descrição da evolução do uso e cobertura da Terra na área de estudo. Os procedimentos adotados permitiram a obtenção e monitoramento de seis classes de uso e cobertura da Terra: agropecuária, áreas urbanas, corpos d'água, reflorestamento, vegetação alterada e vegetação natural. No período analisado, as maiores mudanças ocorreram nas classes de vegetação natural (com redução de 26,57% em sua área de ocorrência) e agropecuária (com crescimento de 27,13%).

A análise das mudanças demonstrou alterações internas nas classes de agropecuária, reflorestamento, vegetação alterada e vegetação natural entre os períodos estudados, onde parte de suas áreas foram convertidas em outros tipos de uso e cobertura da Terra.

A expansão da agropecuária, impulsionada pelo surgimento de programas de linhas de crédito e de incentivos fiscais, ocorreu principalmente sobre as áreas de Cerrado nativo, formando extensas manchas contínuas de uso da terra onde inexistia vegetação natural preservada em seu interior.

A análise dos dados do IBGE sobre a área plantada e a quantidade produzida no período de 1990 a 2012 indica que os principais produtos agrícolas da área de estudo são a soja, o algodão e o milho.

Destaca-se ainda, que os polígonos gerados poderão ser retrabalhados posteriormente, o que permitirá a atualização constante do monitoramento do uso e cobertura da Terra na fronteira agrícola do Oeste da Bahia sobre o Grupo Urucuia.

Detecção de Mudança do Uso e Cobertura da Terra Usando o Método de Pós-Classificação

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos seguintes financiadores: Instituto Federal de Brasília (IFB) pela concessão de licença remunerada ao autor Sandro Nunes de Oliveira; ao CNPq pelo financiamento das bolsas de pesquisa aos autores Osmar Abílio de Carvalho Júnior, Roberto Arnaldo Trancoso Gomes, Renato Fontes Guimarães e Éder de Souza Martins. Em especial os autores agradecem ao Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE) da Universidade de Brasília (UnB), a Aline Brignol Menke, Aracelly dos Santos Castro, Bruno Pimenta Guimarães, Fabiana de Oliveira Hessel, Luana Cristine da Silva Jardim Pinheiro, Pedro Maury Flores, Rosana Sumiya Gurgel e Thiago Felipe de Oliveira Spagnolo pelo fornecimento dos dados do mapeamento do uso e cobertura da Terra.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELSON, P. H.; ROWE, J. W. A new agricultural frontier. *Science*, v. 235, p. 1450-1451, 1987.
- ADAMS, J. B.; SABOL, D. E.; KAPOV, V.; ALMEIDA FILHO, R.; ROBERTS, D. A.; SMITH, M. O.; GILLESPIE, A. R. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: Application to land-cover change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, v. 52, p. 137-154, 1995.
- BATISTELLA, M.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E. E.; VIEIRA, H. R.; VALLADARES, G. S.; MANGABEIRA, J. A. C.; ASSIS, M. C. **Monitoramento da expansão agropecuária na região Oeste da Bahia**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002. 40 p. (Documentos, 20).
- BOVOLO, F.; BRUZZONE, L. A theoretical framework for unsupervised change detection based on change vector analysis in the Polar Domain. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 45, p. 218-236, 2007.
- BRANNSTROM, C. Environmental policy reform on north-eastern Brazil's agricultural frontier. *Geoforum*, v. 36, p. 257-271, 2005.
- BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A. M.; REDO, D.; XU, Z.; GANESH, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986–2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. *Land Use Policy*, v. 25, p. 579-595, 2008.
- CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE M. A. Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, p. 269-282, 1997a.
- CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE M. A. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, p. 283-294, 1997b.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GILLESPIE, A. R.; SILVA, N. C.; GOMES, R. A. T. A new approach to change vector analysis using distance and similarity measures. *Remote Sensing*, v. 3, p. 2473-2493, 2011.
- CASTRO, A. S.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S. Análise da dinâmica da paisagem no município de Formosa do Rio Preto (BA). *Espaço & Geografia*, v. 16, p. 307-323, 2013.
- DENG, J. S.; WANG, K.; DENG, Y. H.; QI, G. J. PCA-based land-use change detection and analysis using multitemporal and multisensor satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29, p. 4823-4838, 2008.
- ELMORE, A. J.; MUSTARD, J. F.; MANNING, S. J.; LOBELL, D. B. Quantifying vegetation change in semiarid environments: Precision and accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index. *Remote Sensing of Environment*, v. 73, p. 87-102, 2000.
- FERREIRA, L. G.; FERNANDEZ, L. E.; SANO, E. E.; FIELD, C.; SOUSA, S. B.; ARANTES, A. E.; ARAÚJO, F. M. Biophysical properties of cultivated pastures in the Brazilian Savanna Biome: An analysis in the spatial-temporal domains based on ground and satellite data. *Remote Sensing*, v. 5, p. 307-326, 2013.
- FERREIRA, M. V.; RIEDEL, P. S.; MARQUES, M. L.; TINÓS, T. M. Comparação entre técnicas de classificação digital de imagens para detecção

- de mudanças do uso e cobertura da terra. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, p. 613-627, 2010.
- FLORES, P. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T. Análise multitemporal da expansão agrícola no município de Barreiras - Bahia (1988 - 2008). **Campo - Território**, v. 7, p. 1-19, 2012.
- FULLER, R. M.; SMITH, G. M.; DEVEREUX, B. J. The characterisation and measurement of land cover change through remote sensing: problems in operational applications? **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 4, p. 243-253, 2003.
- FUNG, T.; LEDREW, E. Application of principal components analysis to change detection. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 53, p. 1649-1658, 1987.
- GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O Sistema Aquífero Uruçuia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, p. 216-226, 2007.
- GUIMARÃES, B. P. **Análise multitemporal do uso e ocupação do solo no município de Baianópolis (BA)**. 51f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- GURGEL, R. S.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; GUIMARAES, R. F.; MARTINS, E. S. Relação entre a evolução do uso da terra com as unidades geomorfológicas no município de Riachão das Neves (BA). **GeoTextos**, v. 9, p. 177-201, 2013.
- HEALEY, S. P.; YANG, Z.; COHEN, W. B.; PIERCE, D. J. Application of two regression-based methods to estimate the effects of partial harvest on forest structure using Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, p. 115-126, 2006.
- HESSEL, F. O.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. Dinâmica e sucessão dos padrões da paisagem agrícola no município de Cocos (Bahia). **RA'E GA**, v. 26, p. 128-156, 2012.
- HOWARTH, P. J.; WICKWARE, G. M. Procedures for change detection using Landsat digital data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 2, p. 277-291, 1981.
- HUDAK, A. T.; WESSMAN, C. A. Deforestation in Mwanza District, Malawi, from 1981 to 1992, as determined from Landsat MSS imagery. **Applied Geography**, v. 20, p. 155-175, 2000.
- HUIPING, Z.; HONG, J.; QINGHUA, H. Landscape and water quality change detection in Urban Wetland: A post-classification comparison method with IKONOS data. **Procedia Environmental Sciences**, v. 10, p. 1726-1731, 2011.
- HUZUI, A. E.; CĂLIN, I.; PĂTRU-STUPARIU, I. Spatial pattern analyses of landscape using multi-temporal data sources. **Procedia Environmental Sciences**, v. 14, p. 98-110, 2012.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal - 2012**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=27&i=P>>. Acesso em: 11 agosto 2014.
- IGARASHI, T. Alos mission requirement and sensor specifications. **Advances in Space Research**, v. 28, p. 127-131, 2001.
- JASINSKI, E.; MORTON, D.; DEFRIES, R.; SHIMABUKURO, Y.; ANDERSON, L.; HANSEN, M. Physical landscape correlates of the expansion of mechanized agriculture in Mato Grosso, Brazil. **Earth Interactions**, v. 9, p. 1-18, 2005.
- JAXA. JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY. **ALOS product format description (PRISM)**. 2006. Disponível em: <[http://www.ga.gov.au/webtemp/image\\_cache/GA10285.pdf](http://www.ga.gov.au/webtemp/image_cache/GA10285.pdf)>. Acesso em: 19 agosto 2014.
- JENSEN, J. R.; COWEN, D. J.; ALTHAUSEN, J. D.; NARUMALANI, S.; WEATHERBEE, O. An evaluation of Coastwatch change detection protocol in South Carolina. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 59, p. 1039-1046, 1993.
- KENNEDY, R. E.; COHEN, W. B.; SCHROEDER, T. A. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics. **Remote Sensing of Environment**, v. 110, p. 370-386, 2007.



Detecção de Mudança do Uso e Cobertura da Terra Usando o Método de Pós-Classificação

- LAMBIN, E. F. Monitoring forest degradation in tropical regions by remote sensing: some methodological issues. **Global Ecology and Biogeography**, v. 8, p. 191-198, 1999.
- LIU, D.; SONG, K.; TOWNSHEND, J. R. G.; GONG, P. Using local transition probability models in Markov random fields for forest change detection. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 2222-2231, 2008.
- LIU, H.; ZHOU, Q. Accuracy analysis of remote sensing change detection by rule-based rationality evaluation with post-classification comparison. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 1037-1050, 2004.
- LOVELAND, T. R.; SOHL, T. L.; STEHMAN, S. V.; GALLANT, A. L.; SAYLER, K. L.; NAPTON, D. E. A strategy for estimating the rates of recent United States land-cover changes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 68, p. 1091-1099, 2002.
- LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 2365-2407, 2003.
- MAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, p. 139-152, 1999.
- MENKE, A. B.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, S. N. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luís Eduardo Magalhães (BA - Brasil). **Sociedade & Natureza**, v. 21, p. 315-326, 2009.
- MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Monitoramento do Bioma Cerrado 2009 - 2010**. Brasília, 2011. 65p.
- NASA. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Landsat 5**. 2014. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3217>>. Acesso em: 19/08/2014.
- NEPSTAD, D. C.; KLINK, C. A.; UHL, C.; VIEIRA, I. C.; LEFEBVRE, P.; PEDLOWSKI, M.; MATRICARDI, E.; NEGREIROS, G.; BROWN, I. F.; AMARAL, E.; HOMMA, A.; WALKER, R. Land-use in Amazonia and the Cerrado of Brazil. **Ciência e Cultura**, v.49, p. 73-86, 1997.
- PINHEIRO, L. C. S. J. **Análise multitemporal da dinâmica do uso e cobertura da terra no município de Correntina - BA**. 2012. 66f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- QIN, D.; JIANWEN, M.; YUN, O. Y. Remote sensing data change detection based on the CI test of Bayesian networks. **Computers & Geosciences**, v. 32, p. 195-202, 2006.
- RAFIEE, R.; MAHINY, A. S.; KHORASANI, N. Assessment of changes in urban green spaces of Mashad city using satellite data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.11, p. 431-438, 2009.
- RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, p. 223-230, 1997.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113-124, 2010.
- SANO, E. E.; SANTOS, C. C. M.; SILVA, E. M.; CHAVES, J. M. Fronteira agrícola do Oeste Baiano: considerações sobre os aspectos temporais e ambientais. **Geociências**, v. 30, p. 479-489, 2011.
- SANTANA, J. M. A. **O Estado e a organização espacial do Oeste Baiano**. 2008. 114f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.
- SANTANA, O. A.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; CARDOSO, W. S.; MARTINS, E. S.; PASSO, D. P.; GUIMARÃES, R. F. Distribuição de espécies vegetais nativas em distintos macroambientes na região do oeste da Bahia. **Espaço & Geografia**, v. 13, p. 181-223, 2010.
- SAUNIER, S.; GORYL, P.; CHANDER, G.; SANTER, R.; BOUVET, M.; COLLET, B.; MAMBIMBA, A.; AKSAKAL, S. K. Radiometric, geometric, and image quality assessment of ALOS AVNIR-2 and PRISM sensors. **IEEE Transactions on Geoscience**

*de Oliveira S. N. et al.*

- and Remote Sensing**, v. 48, p. 3855-3866, 2010.
- SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a Tropical Savanna Hotspot. **BioScience**, v. 52, p. 225-233, 2002.
- SILVA, N. C.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; ROSA, A. N. C. S.; GUIMARÃES, R. F.; Gomes, R. A. T. Change detection software using self-organizing feature maps. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 30, p. 505-518, 2012.
- SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, p. 989-1003, 1989.
- SOLIMAN, G.; SOUSSA, H. Wetland change detection in Nile swamps of southern Sudan using multitemporal satellite imagery. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 5, 2011.
- SPAGNOLO, T. F. O.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. S.; COUTO JÚNIOR, A. F. Dinâmica da expansão agrícola do município de São Desidério-BA entre os anos de 1984 a 2008, importante produtor nacional de soja, algodão e milho. **Geo UERJ**, v. 2, p. 603-618, 2012.
- SPIGOLON, A. L. D.; ALVARENGA, C. J. S. Fácies e elementos arquiteturais resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, p. 579-586, 2002.
- TURAZI, C. M. V.; CARVALHO, A. P. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Emprego da metodologia de detecção de mudanças a partir de mistura espectral no projeto de assentamento Americana, município de Grão Mogol-MG. **Espaço & Geografia**, v. 12, p. 151-183, 2009.
- VAN DE VOORDE, T.; DE GENST, W.; CANTERS, F. Improving pixel-based VHR land-cover classifications of urban areas with post-classification techniques. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 73, p. 1017-1027, 2007.
- YUAN, F.; SAWAYA, K. E.; LOEFFELHOLZ, B. C.; BAUER, M. E. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 98, p. 317-328, 2005.