



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CÂMPUS DE PALMAS  
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL

**ROBERTA MARA DE OLIVEIRA VERGARA**

**USO DA TERRA, APTIDÃO HÍDRICA E EXPANSÃO DA  
ATIVIDADE AGRÍCOLA NO SUDOESTE DO TOCANTINS:  
IDENTIFICAÇÃO DE CENÁRIOS E FRAGILIDADES**

Palmas/TO  
2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- V494u VERGARA, ROBERTA MARA DE OLIVEIRA.  
USO DA TERRA, APTIDÃO HÍDRICA E EXPANSÃO DA ATIVIDADE  
AGRICOLA NO SUDOESTE DO TOCANTINS: IDENTIFICAÇÃO DE  
CENÁRIOS E FRAGILIDADES . / ROBERTA MARA DE OLIVEIRA  
VERGARA. – Palmas, TO, 2021.  
182 f.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus  
Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em  
Desenvolvimento Regional, 2021.  
Orientador: RODOLFO ALVES DA LUZ
1. Uso e Cobertura da Terra. 2. Modelagem Dinâmica. 3. Expansão  
Agrícola. 4. Desenvolvimento Regional. I. Título

**CDD 338.9**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer  
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.  
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184  
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

# **USO DA TERRA, APTIDÃO HÍDRICA E EXPANSÃO DA ATIVIDADE AGRÍCOLA NO SUDOESTE DO TOCANTINS: IDENTIFICAÇÃO DE CENÁRIOS E FRAGILIDADES**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Regional avaliado para obtenção ao título de doutora em Desenvolvimento Regional e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora

Data de aprovação: 20 / 10 / 2021

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Rodolfo Alves da Luz  
Universidade Federal do Tocantins

---

Prof. Dr. Waldecy Rodrigues  
Universidade Federal do Tocantins

---

Prof. Dr. Thiago José Arruda de Oliveira  
Universidade Federal do Tocantins

---

Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira  
Universidade Federal de Goiás

---

Prof. Dr. André Fróes de Borja Reis  
Kansas State University

Palmas/TO  
2021

*Dedico esta tese ao meu Amor Fernán Enrique Vergara que sempre esteve ao meu lado nesses dias de luta e me apoia nas minhas conquistas.*

*Aos meus pais Cleusa e Anastácio que me incentivaram na caminhada da educação.*

*Ao meu irmão Flávio Henrique e minha cunhada Flávia*

*Aos meus sobrinhos Luiz Henrique, Heloisa e Ana Clara por serem motivos de alegrias na minha vida*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela inspiração e por me manter firme na caminhada e perseverante, por nunca me deixar desacreditar.

Ao meu orientador Prof.Dr. Rodolfo Alves da Luz, por tanto conhecimento compartilhando e sugestões assertivas, com sua orientação clara e sempre amigável durante toda a pesquisa.

Ao professor Manuel Xavier pelas primeiras orientações no projeto de doutorado.

Ao Professor Nilson Ferreira que sempre esteve pronto para tirar minhas dúvidas e dando boas e valiosas sugestões na construção da pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Regional por toda a contribuição.

Aos colegas do Programa, Poliana Machado, Andrielly, Willian e Samuel pelo companheirismo nos trabalhos que produzimos durante o curso.

Aos colegas do Colegiado de Engenharia Civil da UFT que permitiram minha licença durante o período do doutoramento.

Agradeço especialmente ao meu esposo Fernán por estar ao meu lado durante todo esse processo, por nunca duvidar do meu trabalho e sempre me apoiar

Por fim agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Programa CAPES-ANA-BDP processo 88887.144867/2017-00.c. Pelo apoio financeiro.

## RESUMO

Os problemas ambientais na região do Médio Araguaia, sudoeste tocantinense, são resultantes de um padrão de ocupação que ocorreu em função do desenvolvimento econômico estabelecida na década de 1960 e que perdura até os dias atuais. A presente pesquisa, analisou a evolução do uso e ocupação da terra ao longo de 34 anos, no período de 1985 a 2019. Dessa forma, foram determinadas as taxas de transformação ocorridas por período e identificadas suas fragilidades ambientais, bem como mapeadas as zonas adequadas para a produção agrícola. Foram avaliados os aspectos físicos e ambientais associados à dinâmica de transformação do espaço, que auxiliaram na modelagem de cenários futuros de uso e ocupação da terra e de fragilidades ambientais e aptidão hídrica e climática para a produção agrícola. Considerando que se mantenham os padrões de ocupação capitaneados pela expansão da cultura para áreas de pastagens, desmatamento e aumento de áreas destinadas para a agricultura irrigada, a região irá perder a capacidade de suporte ambiental e alcançar uma situação de extremo déficit hídrico, que, conseqüentemente, irá impactar negativamente na produtividade agrícola. Tendo em vista este cenário preocupante, a metodologia utilizada neste estudo se mostra bastante adequada para subsidiar políticas públicas e ações de planejamento e de monitoramento que auxiliem no processo de desenvolvimento regional da região.

**Palavras-chaves:** Uso e Cobertura da Terra. Desenvolvimento Regional. Expansão Agrícola.

## ABSTRACT

The environmental problems in the Middle Araguaia region, southwest of Tocantins, are resulted of an occupation pattern oriented by the economic development established in the 1960s, and that persists to current days. This research analyzed the evolution of land use and occupation over 34 years (from 1985 to 2019). It was determined the transformation rates occurred and the environmental fragility, as well as the suitable lands for agricultural production. It was evaluated the physical and environmental aspects associated with the land use dynamics, which aided in the modeling future scenarios of occupation scenarios environmental fragility and hydrological and climatic suitability for agricultural production. Considering the maintained of the current occupation patterns guided by the expansion of the crop to pasture areas, deforestation and the increase of irrigated areas, the region will lose its environmental support capacity and will reach a situation of extreme water deficit, causing negative impacts in the agricultural productivity. In view of this scenario, the methodology used in this study is quite adequate to support public policies and actions of planning and monitoring, which are essential to that help in the process of regional development in the region.

**Key-words: Land use and coverage. Regional development. Agricultural expansion.**

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1 - Linha do tempo das etapas de desenvolvimento da atividade agrícola .....          | 26  |
| Figura 2 - Ocupação da Pecuária em porcentagem no território tocantinense .....              | 32  |
| Figura 3- Evolução da cultura da soja no Tocantins .....                                     | 34  |
| Figura 4 - Ocupação da lavoura no território tocantinense e localização de Armazéns.....     | 37  |
| Figura 5 Armazéns e Silos instalados na AEG-01 .....   | 38  |
| Figura 6 - Mapa das Bacias Hidrográficas .....   | 43  |
| Figura 7- Canal de irrigação do Projeto Formoso .....  | 45  |
| Figura 8- Sistema de barramento no leito do rio .....  | 45  |
| Figura 9- Espacialização de outorgas .....   | 51  |
| Figura 10- Médio curso do rio Javaés .....   | 52  |
| Figura 11- Mapa dos municípios da Área Estratégica de Gestão-AEG 01 .....                    | 56  |
| Figura 12- Representação esquemática dos elementos de superfície .....                       | 58  |
| Figura 13- Formações geológicas da Área Estratégica de Gestão .....                          | 59  |
| Figura 14- Mapa de Formas de Relevo .....  | 61  |
| Figura 15 – Planície Fluvial na AEG-01. ....   | 63  |
| Figura 16- Mapa de Declividade .....   | 64  |
| Figura 17- Mapa Pedológico .....   | 65  |
| Figura 18- Solos encharcados.....  | 66  |
| Figura 19- Mapa de Erodibilidade Potencial dos solos .....                                   | 70  |
| Figura 20- Principais Hidrografias da AEG 01 .....   | 71  |
| Figura 21 – Formação de Ipucas nas lavouras da AEG-01 .....                                  | 73  |
| Figura 22– Mata seca e afloramento de rocha calcária na AEG-01 .....                         | 73  |
| Figura 23- Mapa de Vegetação.....  | 74  |
| Figura 24- Unidades de Conservação e Terras Indígenas .....                                  | 76  |
| Figura 25- Caracterização Climática SEPLAN (2020). ....                                      | 78  |
| Figura 26– Áreas de influência nas Unidades de conservação e Terras Indígenas .....          | 82  |
| Figura 27- Efeitos da cobertura dos solos sobre seus atributos, microclima e produtividade.. | 88  |
| Figura 28- Sistema de escoamento superficial .....   | 93  |
| Figura 29- Microbacias experimentais com cobertura florestal e pastagem .....                | 93  |
| Figura 30- Instalações de bombas e tubulações no Rio Formoso.....                            | 96  |
| Figura 31 - Estrutura dos projetos de cenários em modelos de simulação.....                  | 105 |
| Figura 32- Fluxograma metodológico .....   | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 33- Esquema de álgebra de Mapas.....  | 121 |
| Figura 34- Fluxograma da elaboração do mapa de zonas de aptidão hídrica.....             | 123 |
| Figura 35- Fluxograma metodológico das etapas de modelagem dinâmica.....                 | 124 |
| Figura 36- Esquema da elaboração da matriz de transição .....                            | 126 |
| Figura 37- Fluxograma do cálculo dos pesos e evidências .....                            | 126 |
| Figura 38- Fluxograma das etapas de construção do modelo de simulação.....               | 128 |
| Figura 39 - Álgebra de mapas para elaboração de mapa síntese .....                       | 130 |
| Figura 40- Uso e cobertura da Terra em 1985 e 2000 .....                                 | 132 |
| Figura 41 - Uso e cobertura da Terra em 2000 e 2010 .....                                | 133 |
| Figura 42 - Uso e cobertura da Terra em 2010 e 2019 .....                                | 134 |
| Figura 43- Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente 2019 .....                | 137 |
| Figura 44- Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente 2029 .....                | 137 |
| Figura 45- Mapa das Zonas de aptidão Hídrica e Climática .....                           | 138 |
| Figura 46 - Mapas de probabilidade de transição de uso da terra entre 1985 e 2019.....   | 142 |
| Figura 47 - Comparação visual entre o modelo e o mapa de uso real.....                   | 143 |
| Figura 48- Cenário Simulado para o ano de 2029 .....                                     | 145 |
| Figura 49 - Comparativo do avanço da atividade agrícola nas unidades de conservação..... | 146 |
| Figura 50 - Mapa das zonas de aptidão à Atividade Agrícola.....                          | 147 |
| Figura 51 Mapa das zonas de aptidão à Atividade Agrícola .....                           | 148 |
| Figura 53 - Sistema de irrigação por canais .....  | 154 |
| Figura 54 - Deposição de embalagens de defensivos agrícolas utilizados na AEG-01.....    | 155 |
| Figura 55- Impactos causados nas áreas de pastagem.....                                  | 156 |
| Figura 56- Mapas de Zonas de Aptidão e Fragilidade .....                                 | 158 |

## **LISTA DE GRÁFICOS**

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1- População Rural e Urbana do Tocantins, 1940,1980,1991, 2000, 2010 e 2020..... | 25 |
| Gráfico 2- Uso da Terra no Tocantins em áreas por hectares .....                         | 33 |
| Gráfico 3- Evolução da área plantada no Tocantins.....                                   | 35 |
| Gráfico 4- Exportação de grãos do Tocantins em toneladas 2010 - 2020.....                | 39 |
| Gráfico 5- Valores de exportação de grãos em dólares de 2010 - 2020.....                 | 40 |
| Gráfico 6- Evolução da produção de Soja e Arroz no Tocantins .....                       | 48 |
| Gráfico 7- Evolução do cultivo do arroz na região de várzeas.....                        | 48 |

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico 8- Evolução do cultivo da soja na região de várzeas.....                    | 49  |
| Gráfico 9- Número de registros encontrados.....                                     | 50  |
| Gráfico 10- Participação territorial dos municípios .....                           | 55  |
| Gráfico 11- Valores Brutos e preços recorrentes.....                                | 57  |
| Gráfico 12- Distribuição temporal da duração do período chuvoso de 1990 – 2019..... | 79  |
| Gráfico 13- Evolução percentual dos grãos no Brasil .....                           | 151 |
| Gráfico 14- Produção de Carne Bovina no Brasil .....                                | 153 |

### **LISTA DE TABELAS**

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1- Áreas ocupadas em hectares no Estado.....                                     | 31  |
| Tabela 2- Classificação da fragilidade quanto a pedologia .....                         | 119 |
| Tabela 3- Classificação da fragilidade quanto a declividade do terreno .....            | 119 |
| Tabela 4- Classificação da fragilidade quanto a geomorfologia do terreno.....           | 119 |
| Tabela 5 - Classificação da fragilidade quanto ao índice pluviométrico.....             | 120 |
| Tabela 6- Capacidade de proteção do uso e cobertura da Terra.....                       | 120 |
| Tabela 7- Valores de índice de Cramer calculado pelo modelo .....                       | 127 |
| Tabela 8- comparação em áreas de classes de uso 1985 e 2000.....                        | 132 |
| Tabela 9- Comparação em áreas de classes de uso 2000 e 2010.....                        | 133 |
| Tabela 10- Comparação em áreas de classes de uso 2010 e 2019.....                       | 135 |
| Tabela 11- Percentual de classes nos anos de 2019 e 2029.....                           | 137 |
| Tabela 12- Percentuais de transformação de classes .....                                | 140 |
| Tabela 13- Percentuais de transformação de classes .....                                | 141 |
| Tabela 14- Índices de similaridade entre os mapas de referência e o mapa simulado ..... | 144 |
| Tabela 15- Matriz de Transição no período de 2019 - 2029 .....                          | 146 |

### **LISTA DE QUADROS**

|   |     |
|---|-----|
| Quadro 1- Classificação das mudanças de uso da terra sobre o escoamento ..... | 92  |
| Quadro 2- Fatores e elementos para determinação da Fragilidade Ambiental..... | 101 |
| Quadro 3- Resumo das categorias de modelos.....                               | 109 |
| Quadro 4- Descrição dos dados utilizados nas etapas da pesquisa.....          | 117 |

|   |     |
|---|-----|
| Quadro 5 - Descrição das classes de uso e ocupação da terra na área de estudo ..... | 118 |
| Quadro 6- Classificação por zonas de aptidão hídrica .....                          | 124 |
| Quadro 7- Evolução do cultivo agrícola.....   | 152 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|              |  |
|--------------|--|
| AEG          | Área Estratégica de Gestão   |
| ANA          | Agência Nacional das águas   |
| ARPA         | Áreas Protegidas da Amazônia   |
| BNDES        | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social                       |
| CONORTE      | Comissão de Estudo dos Problemas do Norte Goiano                           |
| CONAB        | Companhia Nacional de Abastecimento  |
| CSR          | Centro de Sensoriamento Remoto   |
| CNRH         | Conselho Nacional de Recursos Hídricos                                     |
| DIRF         | Distrito de irrigação Rio Formoso  |
| DUI          | Declarações de Uso Insignificante  |
| EMATER       | Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Goiás         |
| EGO          | Environment for Geoprocessing Objects                                      |
| EMBRAPA      | Empresa Brasileira de Agropecuária   |
| FAO          | Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura               |
| FUNAI        | Fundação Nacional do Índio   |
| IAC          | Instituto de Atenção as Cidades  |
| IBGE         | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                            |
| IDH-M        | Índice de Desenvolvimento Humano Municipal)                                |
| IPCC         | Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas                        |
| INMET        | Instituto Nacional de Meteorologia   |
| LUCC         | Land Use Cover Change  |
| Mara         | Ministério da Agricultura e Reforma Agrária ( )                            |
| MMA          | Ministério do Meio Ambiente  |
| OEA          | Organização dos Estados Americanos   |
| PARNA        | Parque Nacional do Araguaia  |
| PERH-TO      | Plano Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins                           |
| PPA          | Plano Plurianual   |
| PIB          | Produto Interno Bruto  |
| PPGDR        | Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional                      |
| POLOAMAZÔNIA | Programa de Pólos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia                 |
| POLOCENTRO   | Programa de Desenvolvimento dos Cerrados                                   |
| PRODIAT      | Programa de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Araguaia-Tocantins       |
| PRODECER     | Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados |
| PRODOESTE    | Programa de Desenvolvimento dos municípios do sudoeste do Estado           |
| SEPLAN       | Secretaria de Planejamento   |
| SEMARH       | Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos                            |
| SEAGRO       | Secretaria Estadual de Agricultura   |
| SIRGAS-2000  | Sistema de Referência Geocêntrico para as América                          |
| SUDECO       | Superintendência do desenvolvimento do Centro Oeste                        |
| SUDAM        | Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia                            |
| SIG          | Sistemas de Informação Geográfica  |
| SRTM         | Shuttle Radar Topography Mission   |
| UFT          | Universidade Federal do Tocantins  |
| WWF          | World Wide Fund for Nature   |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 15 |
| CAPÍTULO 2. OCUPAÇÃO DO ESTADO DO TOCANTINS E A EXPANSÃO DA<br>FRONTEIRA AGRÍCOLA .....               | 21 |
| 2.1 A produção agrícola e o desenvolvimento do Norte Goiano .....                                     | 25 |
| 2.2 A expansão do agronegócio no Tocantins .....  | 29 |
| CAPÍTULO 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTRATÉGICA DE GESTÃO AEG 01                                       | 42 |
| 3.1 A ocupação territorial na Área Estratégica de Gestão AEG 01 .....                                 | 43 |
| 3.1.1 Atividade agrícola na região de Várzea no Tocantins.....  | 47 |
| 3.1.2 Produção da soja para semente na região de várzea da AEG-01 .....                               | 52 |
| 3.1.3 Produção agrícola no vazio sanitário .....  | 53 |
| 3.1.4 Municípios na Área Estratégica de Gestão AEG 01 .....   | 54 |
| 3.2 Características Físicas .....   | 58 |
| 3.2.1 Geologia Regional.....  | 59 |
| 3.2.2 Geomorfologia .....   | 61 |
| 3.2.2 Pedologia.....  | 65 |
| 3.2.4 Erodibilidade dos solos .....   | 68 |
| 3.2.5 Fontes Hídricas.....  | 70 |
| 3.2.6 Vegetação .....   | 72 |
| 3.2.6 Unidades de Conservação e Terras Indígenas.....   | 75 |
| 3.2.7 Aspectos climáticos.....  | 77 |
| 3.3 Fragilidade Ambiental da região .....   | 81 |
| CAPÍTULO 4. MUDANÇA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E MODELOS DE<br>SIMULAÇÃO NA DINÂMICA DA PAISAGEM..... | 85 |
| 4.1 Mudanças de uso e cobertura da terra.....   | 85 |
| 4.1.1 Mudanças de uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas .....                              | 87 |
| 4.2 Produção Agrícola nas regiões de várzeas.....   | 94 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3 Principais demandas de uso da água nas bacias hidrográficas em regiões rurais .....   | 95  |
| 4.4 Fragilidade Ambiental .....   | 99  |
| 4.5 Modelagem Dinâmica da paisagem e a gestão do uso da terra .....   | 103 |
| 4.5.1 Modelos de simulação dinâmica .....   | 108 |
| 4.5.2 Modelos Autômatos Celulares .....   | 110 |
| 4.5.3 Modelo Dinâmica EGO.....  | 112 |
| 5. METODOLOGIA.....   | 115 |
| 5.1 Levantamento dos dados e sistematização cartográfica.....   | 116 |
| 5.2 Análise e Interpretação dos dados .....   | 117 |
| 5.2.1 Evolução do uso e ocupação da terra de 1985 a 2019.....   | 117 |
| 5.3 Mapeamento da Fragilidade Ambiental.....  | 118 |
| 5.4 Mapeamento das zonas de Aptidão hídrica e climática.....  | 121 |
| 5.5 Modelagem dinâmica de uso e ocupação da terra para a construção de cenários futuros .....   | 124 |
| 5.5.1 Sistematização dos dados de entrada .....   | 125 |
| 5.5.2 Matriz de Transição – Calibração do modelo .....  | 125 |
| 5.5.3 Definição dos Pesos e evidências – Calibração do modelo .....   | 126 |
| 5.5.4 Construção do Modelo de Simulação – Validação .....   | 128 |
| 5.6 Elaboração de cenário propositivo e avaliação das tendências da fragilidade ambiental e zonas de aptidão agrícola e climática ..... | 129 |
| 6. RESULTADOS .....   | 131 |
| 6.1 Uso e ocupação da terra em 1985, 2000, 2010 e 2019 .....  | 131 |
| 6.1.1 Mudanças de Uso e Ocupação da Terra de 1985 a 2000 .....  | 131 |
| 6.1.2 Mudanças de Uso e Ocupação da Terra de 2000 a 2010 .....  | 133 |
| 6.1.3 Mudanças de Uso e Ocupação da Terra de 2010 a 2019 .....  | 134 |
| 6.2 Análise da fragilidade Ambiental .....  | 135 |
| 6.2.1 Fragilidade ambiental da AEG-01 em 2019.....  | 135 |
| 6.2.3 Fragilidade ambiental emergencial da AEG-01 para o cenário futuro 2029.....   | 137 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.3 Zonas de Aptidão hídrica e climática para a produção agrícola da AEG-01.....                | 138 |
| 6.4 Modelagem Dinâmica da mudança de uso e ocupação no período de 1985, 2000, 2010 e 2019 ..... | 140 |
| 6.4.1 cálculo da Matrix de transição – Calibração do Modelo.....                                | 140 |
| 6.4.2 Cálculo dos pesos e evidências – Calibração do Modelo.....                                | 141 |
| 6.4.3 Construção do Modelo de Simulação e Validação.....  | 142 |
| 6.4.4 Cenário futuro da atividade agrícola na AEG-01 .....                                      | 144 |
| 6.5 Cenário propositivo da AEG -01 .....  | 147 |
| DISCUSSÕES .....  | 150 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 161 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 164 |

## 1. INTRODUÇÃO

As transformações de uso e ocupação da terra no Tocantins refletem a maneira como se deu a expansão do agronegócio no estado, motivada pela demanda por terras e por políticas que direcionam o seu uso, apropriando-se de novos espaços e modificando o meio ambiente. Tal processo acompanha a mesma tendência do cenário nacional, pautada na abertura de novas áreas para a atividade agrícola, tanto na pecuária quanto na produção de grãos.

Para entender a dinâmica de ocupação e a formação do território na região do médio Araguaia, no sudoeste tocantinense, deve se considerar o papel fundamental e estruturador da agricultura irrigada para a produção de grãos (Barbosa, 1996). Em decorrência das transformações nas áreas de várzeas, com a possibilidade de expansão da área irrigada para plantio, implantação de projetos de modernização nos processos de produção agrícola e desenvolvimento de infraestruturas básicas, é possível analisar as mudanças ocorridas nesse processo de desenvolvimento e como os novos arranjos territoriais têm se configurado.

Para Melo (2015), a expansão de áreas agricultáveis no país ocupa importante papel no âmbito das políticas de ordenamento territorial e desenvolvimento econômico. As mudanças nas categorias de uso e cobertura das terras em variadas regiões são decorrentes da abertura de novas fronteiras agropecuárias em regiões definidas como detentoras de “reservas de terras”, e da intensificação do uso em áreas já ocupadas, com a adoção de novas tecnologias e inversões, visando maximizar a produção e expansão de áreas para diversas finalidades comerciais, atendimento do mercado interno e, sobretudo, do mercado externo.

Segundo Almeida (2010) as alterações do uso e cobertura da terra estão diretamente relacionadas aos aspectos físicos, uma vez que as ações humanas estão envolvidas nesse processo e tem forte correlação com a degradação ambiental. Sendo assim, a caracterização do uso da terra contribui para o entendimento da distribuição das principais atividades econômico-produtivas de uma determinada região e para compreensão das inter-relações entre as formas de ocupação e a intensidade dos processos responsáveis pela degradação do meio físico.

Em regiões onde as dinâmicas de mudança apresentam variações de suas formas naturais, como a transição de formações florestais para lavouras, é comum que ocorram fenômenos de riscos induzidos, como a perda de solos e a diminuição da precipitação.

Para Turner (2002), esses processos estão diretamente relacionados com as transformações de uso e cobertura da terra, uma vez que a retirada da formação florestal compromete a capacidade de infiltração de água no solo e também as taxas de evapotranspiração. Estando a cobertura vegetal diretamente ligada a capacidade de proteção dos solos e no ciclo da água, influenciando diretamente no clima regional.

Para a melhor compreensão dos processos envolvidos na ocupação de um território e as modificações que ali ocorrem como suporte ao planejamento territorial, é preciso buscar uma abordagem analítica, considerando as variáveis espaciais, temporais e as fragilidades ambientais, estabelecendo assim, as diretrizes para o desenvolvimento regional, sustentado nas potencialidades ambientais, com a definição de áreas estratégicas para o desenvolvimento socioeconômico compatível com a vulnerabilidade natural, assim, orientando as iniciativas públicas e privadas que busquem a dinamização produtiva.

Nessa contextualização, a definição de cenários dinâmicos espaciais para essas áreas permite a visualização das informações sobre processos das mudanças territoriais em curso, que podem ser realizadas por meio de modelos elaborados por geotecnologias integrando os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), processamento digital de imagens, análises de multicritério e modelagem dinâmica. Os modelos possibilitam análises quantitativas e qualitativas a respeito da estruturação e da dinâmica do espaço estudado, proporcionando melhor visualização dos elementos responsáveis por suas transformações espaço-temporais (ROSSETTI; ALMEIDA; PINTO, 2013). Assim, é possível desenvolver metodologias para a elaboração de cenários futuros e prognósticos para analisar a capacidade de suporte ambiental de determinada região, fornecendo subsídios ao ordenamento territorial.

Nesse contexto, buscou-se analisar a evolução do uso e ocupação da terra, ao longo de 34 anos, no período de 1985 a 2019, bem como avaliar o grau de vulnerabilidade das unidades de paisagem, gerando assim os mapas de fragilidade ambiental potencial e emergente e a elaboração de mapas de zonas de aptidão hídrica e climática para a agricultura na região do médio Araguaia, no sudoeste tocantinense, denominada pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos, como Área Estratégica de Gestão-AEG 01. A região corresponde às terras agrícolas do rio Formoso, dividida em 3 bacias, rios Javaés, Pium e Formoso.

As transformações ocorridas na região resultaram na alteração da paisagem e seus aspectos naturais, como a diminuição das áreas de formação florestal e o aumento das

áreas de cultivo agrícola, o que leva ao desequilíbrio da dinâmica natural da região. Em pouco mais de 3 décadas, a região perdeu mais de 777.397,00 hectares de formação florestal, mais de 24% do total, sendo que as perdas mais acentuadas ocorreram para as pastagens seguida das lavouras.

Essas transformações moldaram o uso e cobertura da terra na AEG-01, e sua compreensão é imprescindível para o planejamento e a tomada de decisão, uma vez que esse novo molde traz consigo maior demanda pelos recursos naturais e os impactos ambientais ali causados.

O estudo dos fenômenos que ocorrem nos processos de mudança de uso e ocupação da terra exigem ferramentas que possibilitam avaliar esses fenômenos que são dinâmicos. Benedetti (2010) afirma que o uso integrado das geotecnologias, e os algoritmos da modelagem dinâmica, possibilitam maior eficiência nos diagnósticos e prognósticos, por representar os aspectos físicos e suas interações com as mudanças ali ocorridas.

Os problemas ambientais que ocorrem na AEG-01 são consequências de um padrão de ocupação que ocorreu em função do desenvolvimento econômico, o agronegócio, e não buscou mitigar esses impactos. Para Filet (1995), a capacidade de suporte ambiental de uma região agrícola, está na habilidade que o sistema acomoda e incorpora as atividades antrópicas que ali ocorrem sem que suas funções naturais sejam alteradas de forma irreversível.

Neste contexto parte-se da hipótese de que a capacidade de suporte ambiental da AEG-01 para a expansão da produção agrícola, com a adoção das mesmas práticas de irrigação e ocupando áreas com as mesmas tendências, resultam na inviabilidade da prática de produção agrícola, considerando a sua fragilidade ambiental e nas zonas de aptidão hídrica e climática para a produção de grãos.

Esta pesquisa foi estruturada da seguinte forma:

No Capítulo 2 apresenta-se os aspectos da ocupação do território tocantinense, especificamente da expansão da agropecuária, os estímulos ao povoamento da região e as políticas de desenvolvimento regional. No capítulo 3, a caracterização física e econômica, da área de estudo, como recorte da AEG-01, com o diagnóstico da situação atual da área, com levantamentos de dados de produção agrícola, aspectos climáticos e suas vulnerabilidades ambientais frente ao uso e ocupação da terra.

No capítulo 4 traz o referencial bibliográfico abordando os conceitos de uso e ocupação da terra, usos da água na agricultura, a análise da fragilidade ambiental e os modelos de simulação dinâmica.

No capítulo 5 apresenta-se as etapas do desenvolvimento metodológico, que foi dividido em 3 etapas, sendo a primeira etapa o levantamento de dados e a sistematização cartográfica com o diagnóstico da atual situação e caracterização; a segunda etapa constitui-se na avaliação dos padrões e impactos ambientais da expansão da atividade agrícola, a partir dos mapeamentos de fragilidade e elaboração de cenários; a terceira etapa elaboração do cenário propositivo para o ano de 2029.

No capítulo 6, foram apresentados os resultados da pesquisa, com a análise da evolução e dinâmica do uso e ocupação da terra na AEG-01 entre os anos de 1985, 2000, 2010 e 2019, a avaliação dos padrões e impactos ambientais da expansão das atividades agrícolas na área, e a aplicação da modelagem dinâmica na elaboração de cenário futuro de uso da terra para o ano de 2029. Para avaliação da tendência do avanço da atividade agrícola na AEG-01 foi elaborado um cenário propositivo, considerando as fragilidades ambientais e as zonas de restrição hídrica e climática. Ao avaliar essas tendências foi estabelecida diretrizes para um reordenamento territorial com recomendações quanto as zonas de restrição e a produção agrícola.

### **Objetivo Geral**

Para testar as hipóteses foi proposto como objetivo geral avaliar a evolução do uso e cobertura da terra em diferentes períodos de tempo, buscando compreender a relação da sua dinâmica com a fragilidade ambiental e as zonas de aptidão hídrica e climática, diante de um cenário futuro de expansão da atividade agrícola.

### **Objetivos Específicos**

Para tanto foram selecionados os seguintes objetivos específicos:

- 1) realizar o diagnóstico e caracterização da situação atual da AEG-01;
- 2) avaliar os padrões e impactos ambientais da expansão da atividade agrícola;
- 3) elaborar cenários de prognóstico a partir da modelagem dinâmica;
- 4) avaliar as tendências da fragilidade ambiental e zonas de aptidão hídrica e climática;

## **Justificativa**

A região está inserida numa vasta planície de várzeas, tendo o rio Formoso e o rio Javaés como principais fornecedores de água, o que favoreceu a instalações dos projetos de agricultura irrigada na região. O principal e mais antigo, instalado na década de 1980, é o Distrito de irrigação Rio Formoso (DIRF), no município de Formoso do Araguaia, conhecido como o maior projeto de agricultura irrigada em terras contínuas da América Latina. A partir dos anos 2000 são abertos novos canais de irrigação, a sua jusante, ocupando as áreas do município de Lagoa da Confusão, tornando-se uma das maiores produtoras grãos do Estado, com grande representatividade nacional na produção de grãos.

Segundo dados da Embrapa (2018), a produtividade na região foi de 3 toneladas por hectares em uma área de aproximadamente 75 mil hectares, enquanto que áreas como a de Campos Lindos na região centro-oeste do estado com o dobro de área plantada (sequeiro) a produtividade é a mesma.

As mudanças nas atividades econômicas da região resultaram de um conjunto de processos que dependeram dos recursos naturais e de infraestrutura de transporte e políticas públicas de desenvolvimento agrário.

Estando a AEG-01 em uma planície de várzeas, com baixa declividade, solos rasos e hidromórficos, ou seja, muito próximos do lençol freático, a disponibilidade hídrica permanente permitiu o cultivo de duas safras: o arroz (inundação) no verão e a soja (subirrigação) no período seco. Porém, essas características exigem maiores cuidados e tecnologias no manejo do solo e no uso da água, o que torna o ambiente mais frágil do ponto de vista da produção agrícola em larga escala.

Identificar essas transformações, determinar suas fragilidades e mapear zonas adequadas para a produção agrícola, são meios para melhor tomada de decisão, possibilitando um planejamento adequado sobretudo em áreas de maior risco ambiental.

Em função disso, buscou-se investigar as zonas de fragilidade ambiental da área de estudo, onde pudesse ser avaliado os aspectos físicos e antrópicos que atuam no sistema, bem como as zonas de aptidão hídrica e climática, em função da produção agrícola, uma vez que a disponibilidade hídrica e as condições climáticas foram os principais motivos para que a região se tornasse uma das maiores produtoras de grãos do Estado. Porém, esta condição está intrinsecamente ligada aos sistemas de irrigação, provocando conflitos relacionados ao uso da água principalmente nos períodos de

estiagem, quando a disponibilidade hídrica se agrava por conta da alta concentração de pontos de captação ao longo de toda área de cultivo.

Diante de um cenário de expansão da atividade agrícola na AEG-01 nos próximos 10 anos buscou-se avaliar as tendências da fragilidade ambiental e as zonas de aptidão hídrica e climática. Para tanto foram avaliadas as fragilidades ambientais considerando os componentes físicos integrados (solos, relevo, geologia, água, precipitação e vegetação) e as intervenções antrópicas modificadoras dos ambientes (uso da terra), por meio das propostas metodológicas de Tricart (1977), Ross (1994, 2001, 2006), Crepani et al. (1996) e Amaral (2009). A proposta foi também empregada para avaliar dados de clima, como temperatura, evapotranspiração e deficiência hídrica.

Dessa forma, o estudo analisa quais aspectos físicos e ambientais estão associados à dinâmica de transformação do espaço e como podem auxiliar na modelagem de cenários futuros de ocupação do mesmo considerando as suas fragilidades e características climáticas para a produção agrícola. Além disso, é apresentada uma metodologia de análise territorial que auxilia às ações de planejamento, monitoramento e de alteração das formas de ocupação da terra.

## **CAPÍTULO 2. OCUPAÇÃO DO ESTADO DO TOCANTINS E A EXPANSÃO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA**

O objetivo deste capítulo é apresentar alguns aspectos da ocupação do território tocaninense, especificamente da expansão da agropecuária, os estímulos ao povoamento da região e as políticas de desenvolvimento regional no Brasil

O desenvolvimento regional na Amazônia foi consolidado pelos ideais desenvolvimentistas da Era Vargas e, posteriormente, por Juscelino Kubitschek instituindo incentivos fiscais e políticas de investimento na região (SANTOS, 2013).

Com essa nova política de desenvolvimento, o regime do coronelismo começou a sofrer rupturas em meados do século XX com o avanço das relações capitalistas para o interior do país, transformando espaços “vazios” em áreas produtivas e integradas com o mercado do Centro-Sul (LIRA, 2011).

Rodrigues e Oliveira (2013), afirmam que esta iniciativa foi financiada pelo Estado durante o governo do presidente Getúlio Vargas (1930-1945), que sob o lema “Marcha para o Oeste” começou a construir as primeiras estradas no interior do Brasil.

O propósito dessas ações era integrar as localidades isoladas com o restante do país, colonizando as novas terras próximas a rodovia BR – 153, ou Belém-Brasília. Essas medidas são continuadas no governo do presidente Juscelino Kubitschek (1956-1961), que por meio do Plano de Metas iniciou no atual município de Barrolândia - TO a construção dos trechos finais da BR - 153.

Na década de 1940 foi criada a Fundação Brasil Central – FBC, que instituiu a “Marcha para o Oeste”. Após ser extinta em 1967, ela foi anexada à Superintendência do desenvolvimento do Centro Oeste - SUDECO, um ano depois da criação da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM (BRASIL, 2001). Segundo Ajara (1991) essas instituições foram criadas para atrair capital nacional e estrangeiro e preparar uma estrutura logística para o desenvolvimento desse capital com grande aptidão agropecuária nas regiões do Médio Araguaia.

Para melhor compreensão da ocupação do território tocaninense é necessário entender alguns períodos da história. Desde a sua especificidade enquanto antigo norte goiano, um espaço definido pela acentuada pobreza em contraste à modernização agrícola que caracterizou o Estado de Goiás nas últimas décadas, até a incorporação dessa região ao restante do país como fronteira de recursos.

A implantação das grandes empresas agrícolas e conseqüentemente dos latifúndios, ganhou legitimidade com a formação do Estado do Tocantins. A emancipação do novo Estado e a conseqüente separação política-administrativa revelou que, mais do que a vontade separatista de sua população empobrecida de origem nordestina baseada no pequeno produtor rural o novo Estado, a emancipação serviu à legitimação das elites regionais constituídas em grande parte por goianos e mineiros ligados a interesses agropecuaristas (AJARA et. al., 1991, FIRMINO et al, 2009).

A Comissão de Estudo dos Problemas do Norte Goiano (CONORTE) foi fundamental no processo de emancipação do Estado. Era uma sociedade civil sem fins lucrativos, criada em 1981 por um grupo de empresários da região norte, mas que tinham suas bases de negócios nas cidades de Goiânia e Brasília.

Para esse grupo a criação de um novo Estado garantiria à elite local do norte goiano lugar no cenário político nacional frente ao Estado de Goiás, com o argumento de que a economia tocantinense estava vinculada a economia nacional enquanto fornecedora de fatores de produção, mão de obra e capital (OLIVEIRA, 1998, p. 16). “Carta ao Tocantins” a CONORTE aponta:

O Norte Goiano está consciente de que nenhum desenvolvimento é alcançado se a sua busca não se afirmar na trilogia infra-estrutural: energia e estradas, convergindo-se como ponto de apoio à expansão agropastoral. [...] Agilizar a regularização fundiária constitui assim, ação imediata, que o Norte Goiano reclama dos órgãos governamentais. E sugere, como medida mais urgente, que se acelerem os processos discriminatórios, sem perder de vista também as composições, como instrumentos indispensáveis à incorporação de novas áreas agricultáveis ao sistema produtivo (CONORTE, 1982).

Assim sendo, no que refere a expansão do agronegócio, o espaço geográfico do Estado do Tocantins é resultado dos agentes sociais e econômicos responsáveis pelas ações sobre o território, como CONORTE, políticas governamentais de desenvolvimento, construção da Ferrovia Norte-Sul, na implantação de usinas hidroelétricas e outros projetos inclusos no PAC – Programa de Aceleração para o Crescimento do Governo Federal, bem como dos objetos técnicos como as monoculturas, silos, sistemas de irrigação, inovação científica e tecnológica na agricultura, o que desencadeia a urbanização no Estado.

Essa afirmativa é consolidada por Santos (1993) quando ele afirma que é a agricultura moderna que desencadeia uma nova etapa de urbanização no interior do país,

modificando as relações espaciais, ampliando as possibilidades de comunicação e circulação no mundo através de fluxos e fixos que aceleram o tempo, ampliando as escalas de relações e configurando espaços-tempos diferenciados.

Conceitualmente, a ocupação do agronegócio no Tocantins, não está totalmente distinta das outras regiões do Brasil, a diferença se faz apenas pela ocupação tardia.

Alguns estudos sócio econômicos realizados pelo Governo do Estado do Tocantins consideram que a organização do Estado remete primeiramente a um processo histórico marcado pela morosidade da ocupação de seu território, que teria durado do descobrimento até a década de 1960, tutelada pela SUDAM – Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. Posteriormente, houve uma dinâmica caracterizada por atividades como a pecuária e a mineração.

A partir do século XVII, complementando as atividades mineradoras que ocorriam em pequenos núcleos, ocorreu a expansão contínua da pecuária pelo território. Com a decadência do ouro nas últimas décadas do século XVIII e início do século XIX houve um processo de despovoamento e isolamento, que se manteve até século XIX, quando começaram a ocorrer os primeiros conflitos pela terra entre os Estados de Goiás e o Maranhão.

Posteriormente, já no século XX, se observou uma ocupação mais efetiva que deu início a integração espacial desta área ao conjunto do país. Esse processo ocorreu a partir de correntes migratórias nordestinas atraídas por um novo surto minerador. A partir desse momento, a história da ocupação do território pode ser datada por diferentes ciclos: o do minério, o da borracha e o do babaçu, todos apoiados na navegação do Rio Tocantins (SEPLAN, 1996)

Prado Júnior (2004) afirma que a região central do país não ganhou projeção significativa no período colonial, por causa do sistema agrícola exportador que inviabilizava a produção em áreas afastadas do litoral, que não contavam com redes de transportes apropriadas. Somente a pecuária extensiva e a mineração conseguiram se formar em regiões do interior do território, mas não foram suficientes para proporcionar uma ocupação significativa.

Segundo estudo da SEPLAN (1996) a ocupação do território ocorreu de forma lenta e orientada pela descoberta de aluviões auríferos, e pelo trabalho de missionários voltados para a fundação de aldeamentos indígenas. Assim, nascem os primeiros núcleos urbanos, dentre os quais se destaca a cidade de Peixe, nas margens do rio Tocantins. Peixe era passagem obrigatória de bandeiras vindas do Sul, a maioria de São Paulo, em busca

do ouro do norte de Goiás e também dedicada à caça de índios para trabalho escravo. Ainda considerando os estudos existentes sobre a ocupação do território, outras vias de povoamento ocorrem vindas de São Luiz do Maranhão, do Pará e de Goiás e da Bahia.

Segundo Nogueira (2012), o povoamento da região norte foi avançando na medida em que a atividade de mineração declinava, e a agricultura, a pecuária e o comércio regional cresciam. A decadência do ouro empresta um caráter agropastoril aos novos empreendimentos surgidos no entorno dos núcleos urbanos e ao longo dos caminhos. É possível afirmar que mineradores abastados e grandes comerciantes moradores dos centros urbanos possam ter protagonizado a montagem de fazendas, diversificando suas possibilidades de ganho organizando o circuito do capital mercantil.

Em meados da década de 1950, com a perspectiva da construção da BR-153, há uma intensificação do fluxo de migrantes nas margens da futura rodovia, num movimento expansionista das frentes extrativista, pastoril e agrícola. Este processo resultou na intensificação da ocupação na região do Tocantins-Araguaia, de tal modo a criar uma nova fronteira econômica que alterou a estrutura socioeconômica, principalmente com as novas relações com o sudeste e norte SEPLAN (1996).

Segundo Arbués (2004), a abertura da BR-153 viabilizou todo o processo de expansão do antigo norte goiano, redirecionando e incentivando a movimentação do excedente de mão de obra nordestina no sentido da fronteira agrícola da Amazônia. Isso resultou na implantação e crescimento de povoados ao longo da rodovia, alterando a composição das relações sociais e de produção, facilitando o escoamento do gado e atraindo a compra de grandes extensões de terra por fazendeiros vindos do sul e sudeste do país.

Becker (1997), afirma que no Brasil a fronteira constitui um espaço econômico, social e político não plenamente estruturado e em crescente mudança. A Geopolítica do Estado brasileiro constitui não apenas uma, mas muitas fronteiras que deveriam oferecer perspectivas de crescimento econômico, de soluções de tensões sociais e do pleno exercício do poder sobre o tempo e o espaço. A BR-153 e a criação do estado estabelecem esta nova fronteira no centro do Brasil, que passa então a se desenvolver capitaneada pelo crescimento dos investimentos públicos e privados na produção agropecuária.

Os primeiros sentimentos separatistas de Goiás e Tocantins datam de 1809, e surge contra as cobranças de pesados tributos na mineração. Já em 1956, o juiz de Direito da Comarca de Porto Nacional elaborou e divulgou um Manifesto à Nação, revigorando a ideia da criação do novo Estado. Diversas emendas foram apresentadas pela criação do

Estado do Tocantins e, no dia 27 de julho de 1988 foi criado o novo Estado. Em 1º de janeiro de 1990 o governo instalou-se na definitiva capital Palmas (BRASIL, 2001).

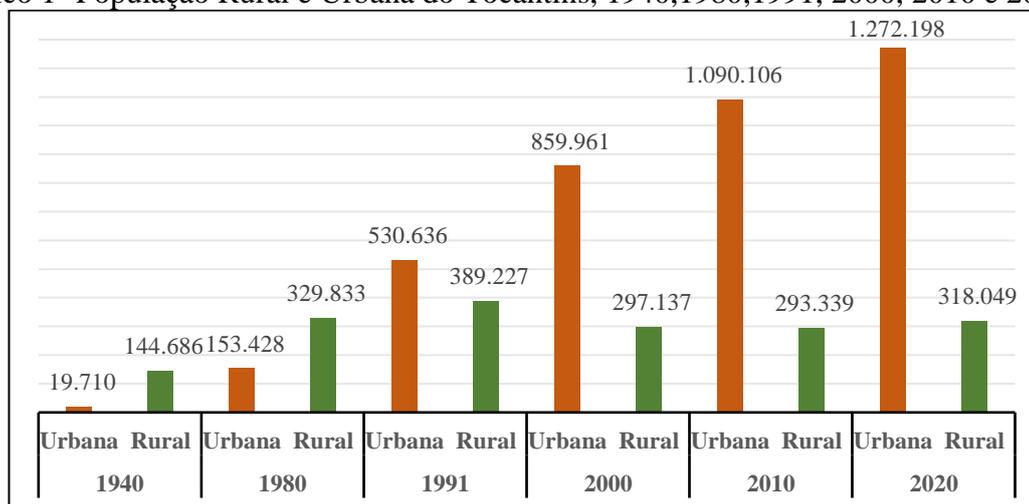
## 2.1 A produção agrícola e o desenvolvimento do Norte Goiano

Ao longo da rodovia BR 153 se formaram as principais cidades do Tocantins, como Araguaína, Gurupi e Paraíso do Tocantins. Inicialmente, a ocupação das empresas agrícolas ocorreu na parte oeste, ao longo do vale do Araguaia.

A migração então não mais ocorria como um extravasamento de atividades extensivas. Ao contrário, projetava a privatização da terra e a mercantilização da economia regional direcionadas pelo avanço da fronteira agrícola. Esse movimento migratório resultou no aumento da população. Dados dos censos demográficos realizados pelo IBGE mostram um aumento considerável nos últimos 50 anos, passando de 328.486 em 1960 para 537.563 em 1970.

Atrelado ao crescimento do número de cidades e dos aparatos de infraestrutura e consumo, uma população predominantemente rural foi transformada em urbana. O Gráfico 1 mostra o aumento da população tocantinense, desde de 1940 até 2020. Desde então, o Tocantins vem mantendo semelhantes taxas de crescimento, chegando a uma população total de 1.590.248 em 2020.

Gráfico 1- População Rural e Urbana do Tocantins, 1940,1980,1991, 2000, 2010 e 2020

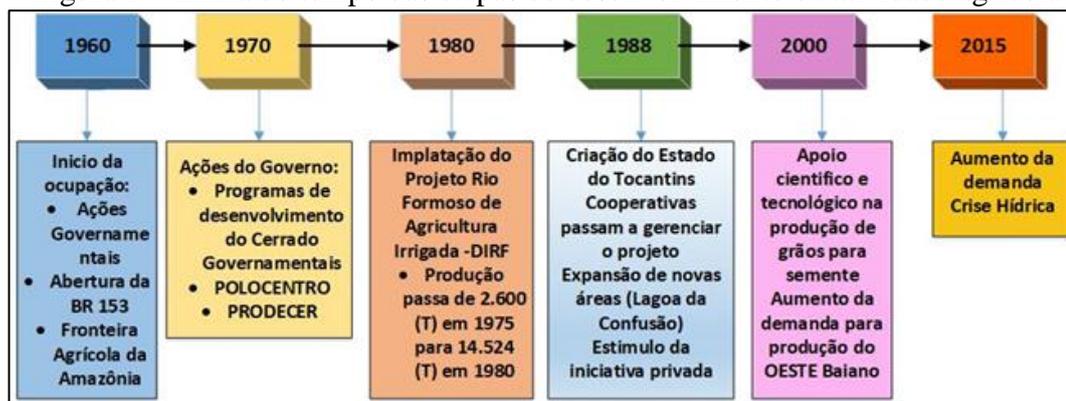


Fonte: Censo Demográfico. IBGE 2010 - Contagem da População, 1940 a 2000, 2010 e 2020

A partir dos anos 1960 (Figura 1), o Estado do Tocantins passa a ser então área prioritária das ações governamentais, recebendo recursos para a infraestrutura e financiamento de produtor rural através de programas especiais de desenvolvimento. Grandes projetos de desenvolvimento localizados na região Centro Norte do Brasil são

implantados, como: a Usina Hidrelétrica de Tucuruí, o Grande Programa Carajás (GPC), os Programa de Pólos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia (POLOAMAZÔNIA), o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO), o Programa de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Araguaia-Tocantins (PRODIAT), e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER) (ARBUÉS, 2004).

Figura 1 - Linha do tempo das etapas de desenvolvimento da atividade agrícola



Fonte: Pesquisas bibliográficas – Elaborado pelo autor (2020)

O POLOCENTRO foi instituído pelo Decreto federal nº 75.320, de 29/01/1975, com o objetivo de “promover o desenvolvimento e a modernização das atividades agropecuárias da região Centro-Oeste e do oeste do Estado de Minas Gerais, mediante a ocupação racional de áreas com características de cerrado e seu aproveitamento em caráter empresarial, na conjugação de pesquisa, assistência técnica, reflorestamento, crédito rural, financiamento de patrulhas motomecanizadas, bem como ampliação da infraestrutura de apoio (transportes, energia e armazenamento)” (FEITOSA, 2019).

A partir do final da década de 1970 a produção de arroz ganha impulso com a instalação do Projeto Rio Formoso, em Formoso do Araguaia. Implantado com apoio financeiro do governo federal e recursos do governo do Estado de Goiás e do BNDES, o Projeto Rio Formoso visava expandir a fronteira agrícola através da “ocupação racional do vale do Araguaia, com a implantação de culturas irrigadas de grãos, especialmente o arroz e a soja, em uma área de aproximadamente 65 mil hectares” (BARBOSA, 1996).

Segundo Ajarra et al. (1991), esse Projeto foi uma das primeiras tentativas de expandir em escala estritamente comercial as atividades agrícolas sediadas no território do atual Estado do Tocantins. A introdução da rizicultura irrigada provocou mudanças na estrutura produtiva de vários municípios, substituindo as pequenas propriedades e a pecuária extensiva. Em Formoso do Araguaia, por exemplo, a produção saltou de 2.609

toneladas, em 1975 (antes da instalação do projeto), para 14.524 toneladas, em 1980, um ano após o início das atividades. Para o conjunto da região norte goiana a produção de arroz sofreu um incremento de 41%, nesse período. A área colhida foi expandida em 82.333 hectares, dos quais cerca de 77% (64.082 ha) estavam concentradas no entorno do projeto.

O PRODIAT propôs projetos de agricultura irrigada na Planície do Araguaia, no período de 1980 a 1983. Porém só nos anos de 1990 e 1991, o Ministério da Agricultura e Reforma Agrária (Mara) desenvolveu o Plano Estadual de Agricultura Irrigada do Estado do Tocantins, que resultou, em 1994, nos estudos de pré-viabilidade do Projeto Javaés/ Mesopotâmia, do qual desmembrava o projeto Lagoa da Confusão e o projeto Rio Formoso (MARTINS, 2005).

As áreas de plantio na região ganham mais destaque a partir de 2005, acompanhado pelos investimentos do PRODECER (Programa de desenvolvimento do cerrado) fase III, que nos anos 1990 contemplou o Estado em infraestrutura nas áreas de produção dos municípios do PRODOESTE (Programa de Desenvolvimento dos municípios do sudoeste do Estado do Tocantins). Tais investimentos resultaram nos projetos irrigados da Lagoa da Confusão e Formoso que, devido as suas características edafoclimáticas de regiões de várzeas e sistema de subirrigação possibilita o plantio de soja durante o período de vazão sanitário (julho, agosto, setembro), já que nestes locais pouco se desenvolve a ferrugem asiática. A expansão da soja no oeste da Bahia também passa a demandar o plantio de soja semente na região.

Esses programas, juntamente com os incentivos fiscais e créditos, especialmente os da SUDAM e SUDECO, contribuíram para a ocupação induzida da região, sendo fonte de atração para a instalação das empresas agropecuárias se estabelecerem ao longo do Vale do Araguaia. Estas empresas atraídas por incentivos fiscais se estabelecem neste primeiro momento nas regiões sudoeste do Estado. Para o governo, a colonização fundamentada em pequenos e médios proprietários frente à escala de investimentos, é impraticável em uma área extensa como Tocantins (MARTINS, 1997).

No período de 1950 a 1985, a modernização da agricultura como política pública não objetivou atingir a maioria dos produtores. O grau de instrução da maioria dos agricultores, os recursos disponíveis para o crédito rural e a posse regularizada da terra não permitiram a massificação do desenvolvimento tecnológico. Segundo Barbosa (1996), o valor cobrado por hectare com infraestrutura pronta pelo Estado foi vendido por 4 mil dólares, valor inacessível para o pequeno produtor que habitava a região, porém

acessível para produtores rurais de outras regiões como os gaúchos e paranaenses que encontraram uma área com excelentes condições naturais e infraestrutura de irrigação. Por isto, optou-se pela seletividade e, por consequência, pelo crédito rural, visto que ele dispõe de mecanismo embutido de auto seleção, pelo qual os agricultores que não se enquadram se auto eliminam, sem serem excluídos pelo governo (ALVES et al., 2008).

Assim, é consolidada a ocupação da região, com características dos projetos agropecuários, com intensiva mecanização agrícola e voltada para a produção de grãos.

Todo esse processo de investimentos ajuda a compreender como essa região se tornou uma área de transição entre as regiões Norte e Centro-Oeste. Pequenos produtores rurais, com extrativismo vegetal e pastagens em sistema comunal, foram dando lugar aos grandes estabelecimentos rurais com novas formas de mão de obra e empreendimentos públicos e privados, substituindo as tradicionais relações de trabalho pelo trabalho assalariado.

Esse novo cenário agrícola do Estado trouxe o modelo das grandes propriedades gerado pela lógica de acumulação conhecido como o latifúndio, conceito cuja manifestação física (tamanho de sua área) varia conforme o local, mas que é referente a estabelecimentos rurais de grandes dimensões (latifúndio por extensão) ou ainda a propriedades improdutivas, independente do seu tamanho, voltadas à especulação imobiliária (SEPLAN,2006).

A concentração de terras é de fato a grande geradora de desigualdade social no meio rural, na luz da análise dos desdobramentos econômicos e sociais importantes na região. Vários autores têm corroborado com a ideia de que a estrutura fundiária brasileira é marcada por uma distribuição de terras altamente concentrada, na qual um pequeno número de imóveis rurais detém uma ampla proporção de área de terra (GIRARDI; FERNANDES, 2008; ALCANTARA FILHO; FONTES, 2009; HOFFMANN; NEY, 2010).

A ação governamental para impulsionar o desenvolvimento do agronegócio no Estado estabeleceu uma relação entre a história e a formação da economia regional e expansão da agricultura. Para Santos (1996), ao analisarmos a história de um lugar é necessário partir do olhar das estruturas sociais em diferentes momentos na formação do espaço geográfico. É fundamental compreender que:

“O espaço geográfico é formado por um conjunto indissociável, solidário e também contraditório, de sistemas de objetos e sistemas de ações, não considerados isoladamente, mas como o quadro

único no qual a história se dá. No começo era a natureza selvagem, formada por objetos naturais, que ao longo da história vão sendo substituídos por objetos fabricados, objetos técnicos, mecanizados e, depois, cibernéticos, fazendo com que a natureza artificial tenda a funcionar como uma máquina. Através da presença desses objetos técnicos: hidroelétricas, fábricas, fazendas modernas, portos, estradas de rodagem, estradas de ferro, cidades, o espaço é marcado por esses acréscimos, que lhe dão um conteúdo extremamente técnico” (SANTOS, 1996, p. 63).

É possível estabelecer três aspectos principais para compreensão da fronteira agrícola a partir das atividades econômicas da pecuária bovina e do plantio de grãos, sendo eles: 1) mão de obra barata e não especializada; 2) incorporação de novas áreas para produção de grãos; 3) tecnificação agrícola (SILVA, 1982; MARTINS, 1997)

Contudo para Fornaro (2012), esse processo de modernização da agricultura pode contribuir para a concentração de terras, pois os pequenos e médios proprietários não possuem capital e estrutura suficiente para se adequar às exigências de produção e produtividade estabelecidas no modelo agroexportador, não conseguindo ser competitivos para permanecer no sistema.

A lógica da ocupação do espaço tocantinense se reorganiza a partir da colonização agrícola, porém ocupada por grandes empresas; uma área de interesse nacional, mas ocupada por multinacionais; área de expansão de pastos, mas de intenso processo de urbanização (BECKER, 1982).

O grande produtor rural, da elite que pertence hoje ao Tocantins venceu o embate da emancipação, e desde então vem viabilizando o Estado administrativa e economicamente, proporcionando condições políticas e de infraestrutura para a instalação do capital. De tal modo a organizar uma legislação favorável às grandes empresas, especialmente no setor agropecuário moderno. Assim, como já ocorreu em outras áreas do país, a expansão do agronegócio no Estado, aumentou a desigualdade social pela concentração de terra e de renda. (LIMA, 2014)

## **2.2 A expansão do agronegócio no Tocantins**

Desde a década de 1980 o discurso empregado para o desenvolvimento do Estado esteve relacionado à exploração econômica da terra de modo mais racional e à expansão

do agronegócio globalizado. O resultado dessa expansão é a emergência de regiões agrícolas competitivas.

Castilho e Frederico (2010) explicam a expansão do agronegócio sobre a óptica das vantagens, que contribuem para a expansão da agricultura e da cadeia de serviços que se instala paralelamente. As vantagens comparativas seriam a disponibilidade de terras agricultáveis, a disponibilidade de recursos hídricos, condições climáticas e topografia, e as vantagens competitivas, incentivos fiscais e linhas de financiamento específicas ao agronegócio e investimentos em infraestrutura.

A disponibilidade de terras também é outro fator essencial na expansão do agronegócio. Em 2012, o Estado possuía mais de 13 milhões de hectares de terras com potencial agrícola SEAGRO (2012). Esse mesmo estoque de terras, fez com que o preço do hectare ficasse abaixo de outras regiões. De acordo com o Anuário da agricultura Brasileira (2014), enquanto o preço médio das terras agrícolas na região sul do país chega a R\$ 12.000 por hectares, no Tocantins esse valor chega a menos de R\$ 2.000, o que transforma a terra em um ativo de reserva de valor, uma ferramenta especulativa.

Em 2016, o Estado atinge mais de 13 milhões de hectares de terras destinadas a produção agrícola (tabela 1), sendo, que 825 mil hectares ocupados por produção de grãos e 7.498.250 hectares ocupadas por pastagens, que também podem ser usadas para a expansão da produção de grãos, e ainda conta com mais de 5 milhões de hectares para áreas de exploração, sendo um ativo de terras significativo para o agronegócio, essas áreas, embora não sejam bem definidas, ora não podendo ser espacializadas, podem aqui ser consideradas, áreas degradadas e pastagens. No entanto, é fundamental para a estratégia de atração do agronegócio a disseminação de ideia de um grande estoque de terras para a exploração agrícola.

Ao analisar a ocupação da terra no Estado, o que predomina são áreas destinadas a agropecuária. Moraes (2002) afirma que num Estado em que as fronteiras agrícolas modernas continuam se expandindo, as áreas de pastagens naturais e plantadas podem ser consideradas fundos territoriais para a expansão da soja e da cana-de-açúcar. A diminuição das áreas de pastagens naturais em favor de pastagens plantadas pode ser o indicador de uma pecuária menos extensiva e que tem melhor produtividade em relação à área ocupada, sendo assim substituídas gradativamente.

De acordo com SEPLAN (2019), num período de 20 anos de ocupação das terras cultiváveis no Estado as áreas de pastagem diminuíram de 11,1 milhões para 8,4 milhões

de hectares, onde se estima que cerca de 5 milhões de hectares se encontra em alguma fase de degradação. Em contrapartida as áreas destinadas para a lavouras passaram de 267 mil hectares para 1.179 milhões de hectares.

Tabela 1- Áreas ocupadas em hectares no Estado

| <b>DISCRIMINAÇÃO DA ÁREA</b>                 | <b>Hectares</b>   | <b>Percentuais (%)</b> |
|--|-------------------|------------------------|
| <b>Áreas com restrição</b>                   | <b>13.990.000</b> | <b>50,25</b>           |
| Áreas potenciais p/ conservação              | 1.266.690         | 4,55                   |
| Parques estaduais                            | 88.930            | 0,32                   |
| Parques nacionais                            | 562.310           | 2,02                   |
| Áreas indígenas                              | 2.007.470         | 7,21                   |
| Áreas de proteção ambiental                  | 1.790.550         | 6,43                   |
| Corpos de água                               | 665.600           | 2,39                   |
| Minerações e uso urbano                      | 30.450            | 0,11                   |
| Áreas de reserva legal (nas propriedades)    | 6.315.000         | 22,68                  |
| Áreas de pres. Permanente (nas propriedades) | 1.263.000         | 4,54                   |
| <b>Área para produção agrícola</b>           | <b>13.852.070</b> | <b>49,75</b>           |
| Pastagens (natural e plantada)               | 7.498.250         | 26,93                  |
| Área produção de grãos explorada             | 825.000           | 2,96                   |
| Área para exploração                         | 5.528.820         | 19,86                  |
| <b>ÁREA TOTAL</b>                            | <b>27.842.070</b> | <b>100,00</b>          |

Fonte: SEPLAN, 2016. Obs: As áreas de reserva legal e de preservação permanente obedecem ao antigo Código Florestal, Lei no 4771/1965.

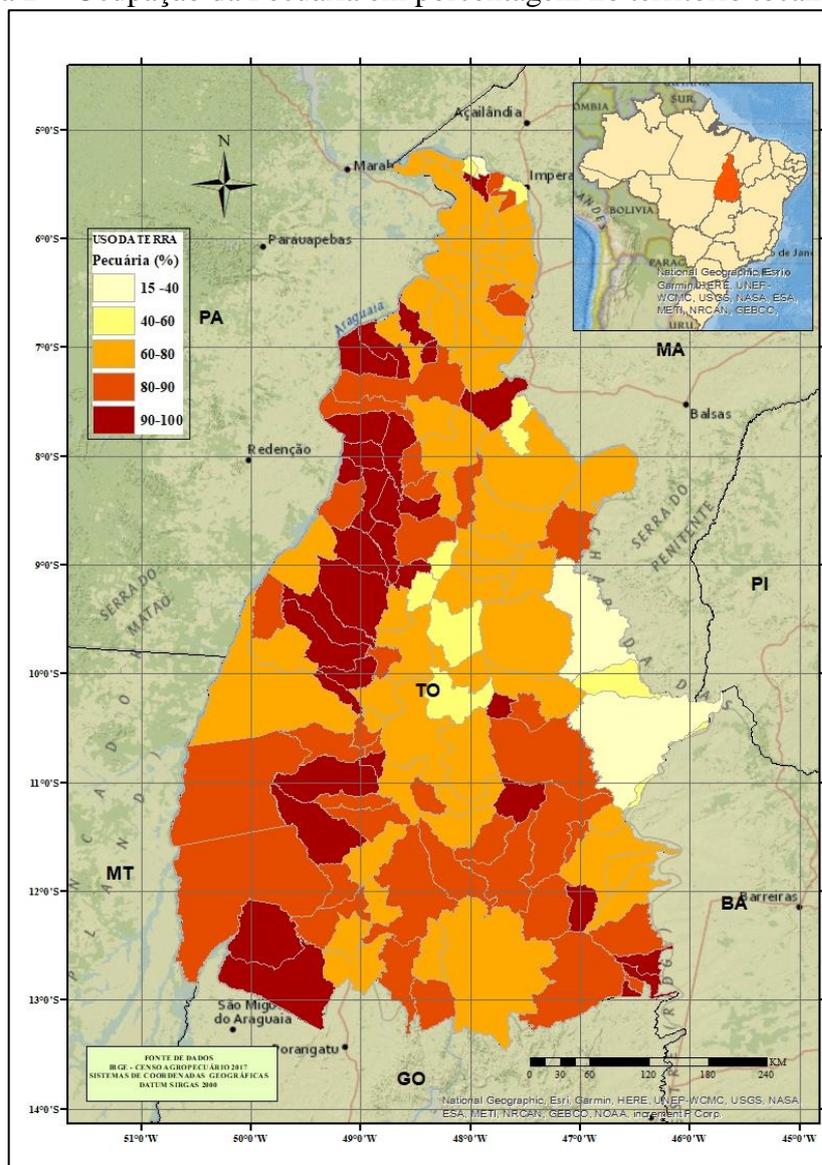
A pecuária é uma atividade que indiscutivelmente acompanhou a formação do espaço tocaninense para a entrada do capital. Desde a abertura de caminhos nas matas e cerrados a espoliação e especulação de terras pelas elites que lideraram os movimentos de separação do Estado de Goiás, a pecuária rapidamente foi apropriada pelo latifúndio.

Para Fürstenau (1994) a diminuição da produção pecuária extensiva deriva do aumento da rentabilidade da lavoura e conseqüente valorização da terra. A implantação das lavouras empresariais e o aumento do valor da terra fazem com que a terra se apresente como recurso mais caro para a pecuária extensiva, obrigando o pecuarista a reformular seus cálculos de custos, sendo obrigado a utilizar práticas mais produtivas para tornar a atividade mais rentável.

A Figura 2 mostra o percentual de área classificada como pecuária em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários dos municípios do Tocantins, onde é possível observar que mais de 80% do território do Estado é predominantemente ocupado

pela pecuária de corte, ocupando a 11ª colocação no ranking nacional, com um rebanho de 8,6 milhões de cabeças, segundo dados da CONAB.

Figura 2 - Ocupação da Pecuária em porcentagem no território tocantinense



Fonte: IBGE – Censo agropecuário 2017. Mapa elaborado pelo autor

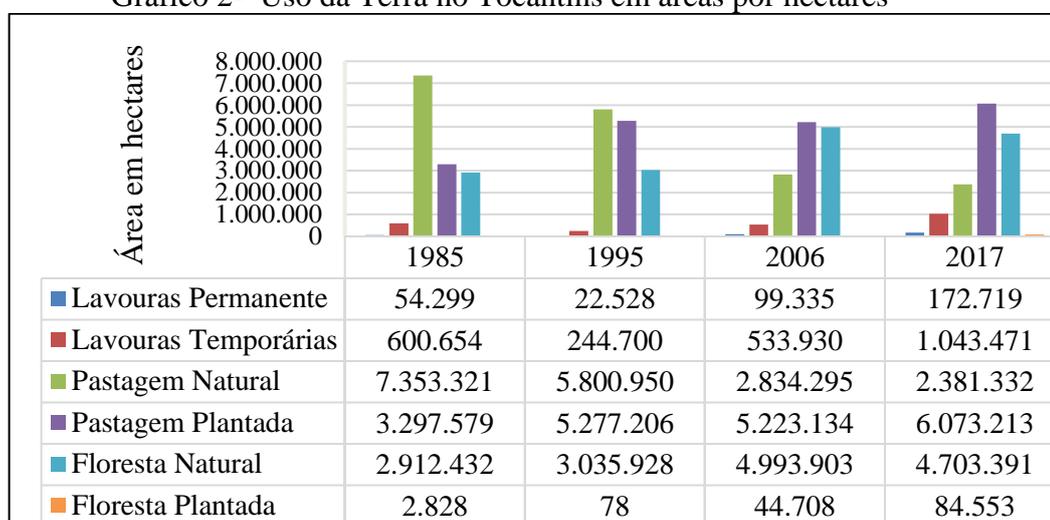
Contudo estudo de Huertas (2007) e Fornaro (2012) afirmam que, embora as áreas de pastagem estejam diminuindo, a lógica da atividade pecuária é diferente das lavouras de grãos. A estabilidade e o caráter especulador da pecuária frente aos grandes financiamentos e aos montantes operacionalizados pelos produtores de grãos ainda separam tais atividades. Assim sendo, não se pode afirmar que a produção de grãos vem substituindo a atividade pecuária de forma ampla.

Segundo dados da SEAGRO (2019), a pecuária bovina do Tocantins, apresenta uma estagnação nos últimos 10 anos com um rebanho em entorno de 8 milhões de bovídeos,

por conta de problemas como o déficit de forragem, ocasionando índices zootécnicos inferiores ao potencial genético animal disponível.

O Gráfico 2 apresenta o uso da terra no Estado nos anos de 1985, 1996, 2006 e 2017, observa-se que entre 1985 e 2017 houve uma diminuição significativa das pastagens naturais, de mais de 7 milhões de hectares para 2 milhões, enquanto que as pastagens plantadas registraram um aumento expressivo, de 3,2 milhões para 6 milhões de hectares. Essa inversão entre áreas de pastagens naturais e plantadas pode ser reflexo da mudança das técnicas empregadas na pecuária, para uma produção mais intensiva e ocupando área total menor.

Gráfico 2- Uso da Terra no Tocantins em áreas por hectares



Fonte: IBGE – Censo agropecuário – Dados organizados pelo autor

O aumento significativo da área ocupada por florestas naturais entre 1985 e 2017, de 2,9 milhões para mais de 4 milhões de hectares, pode ser resultado da instituição de áreas de conservação e do registro das áreas de reserva legal que os produtores rurais devem manter em suas propriedades.

Também houve um aumento das áreas das florestas plantadas entre 1985 e 2017, passando de 2,8 mil hectares para 84,5 mil hectares, que tratam de silvicultura principalmente relacionada a plantação de eucaliptos e teca. Em relação às lavouras permanentes, observa-se que entre os anos de 1985 e 1995 ocorreu uma diminuição de 40% no total de área ocupada, o que pode ser comparado com o aumento significativo de áreas ocupadas por lavouras temporárias. As áreas destinadas a lavouras aumentam exponencialmente a partir do ano de 2000, chegando em 2019 com mais de 1 milhão de hectares cultivados, conforme mostra a Figura 3, que apresenta a evolução das áreas ocupadas pela soja.

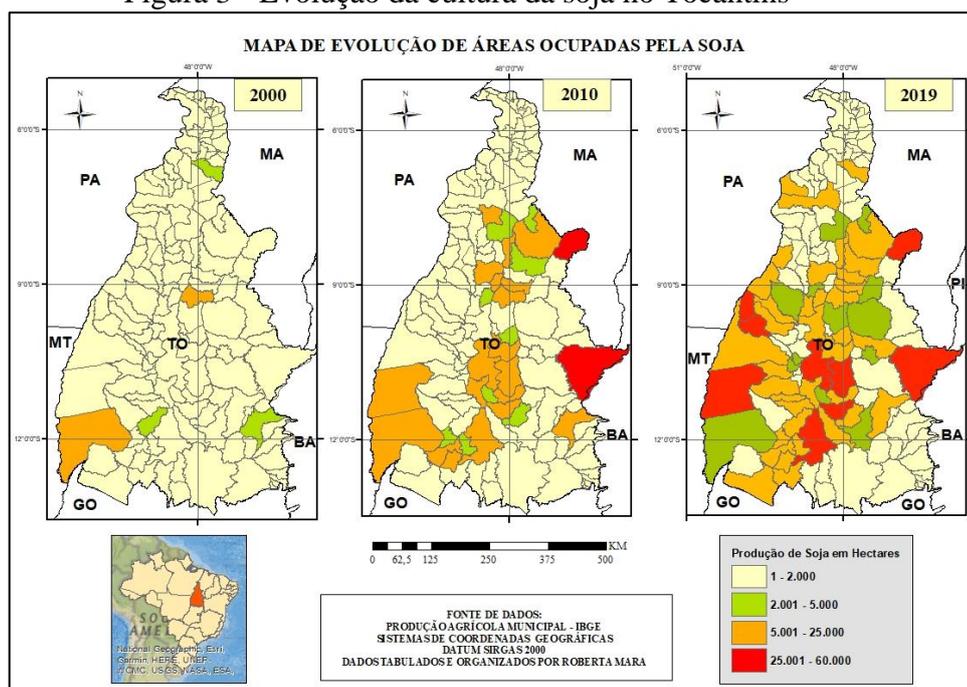
O aumento de áreas para cultura de grãos, especialmente a soja, inicia-se na região sudoeste e expande para a parte oriental do Estado. A expansão produtiva da cultura da soja ocorre a partir de 2010, quando alguns municípios chegam a ter mais de 50 mil hectares de área para a produção do grão, o que antes não passava de 2 mil hectares.

A evolução da área plantada para a cultura de grãos está atrelada aos investimentos do governo estadual, o Plano Plurianual (PPA) estadual, referência institucional de planejamento de governo e principal instrumento de planejamento de médio prazo para a execução das políticas públicas, desde de seu início de execução em 2004, evidenciam o agronegócio como estratégia de desenvolvimento.

O primeiro PPA teve como objetivo o fortalecimento da cadeia produtiva do agronegócio a partir dos projetos agrícolas, com elaboração de projetos e estudos de transportes, além da realização de feiras agropecuárias, tendo como maior expoente a Agrotins. Já o PPA 2012-2015 envolve o crescimento de 1.000% da área da silvicultura, 100% da área de cana-de-açúcar, 30% da área de grãos e 500% das áreas destinadas a integração lavoura-pecuária. Enquanto que o PPA a partir de 2016, contemplou a extensão rural, o PRODOESTE e projetos de irrigação.

Ao avaliar o aumento da produção da soja e comparar com outras áreas plantadas, um aspecto que chama atenção é o seu aumento exponencial, enquanto que outras culturas, como o arroz e o milho, mantém um crescimento progressivo, porém de forma mais lenta.

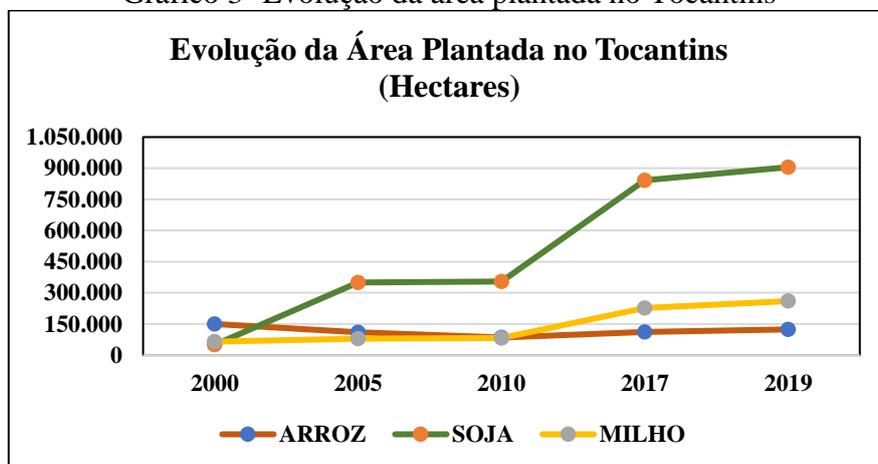
Figura 3- Evolução da cultura da soja no Tocantins



Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal – Dados organizados pelo autor

Ao analisar o gráfico 3, observa-se que a cultura que mais cresceu no período de 1990 até 2019 foi a soja, que antes tinha aproximadamente 26 mil ha passando para mais de 1.000 mil ha

Gráfico 3- Evolução da área plantada no Tocantins



Fonte: IBGE –Produção Agrícola Municipal - Dados organizados pelo autor

Os dados comparativos entre soja e arroz no Tocantins apresentados pelo censo agropecuário em série histórica, podem indicar não apenas a expansão de uma agricultura moderna sobre um sistema agrícola tradicional, como também apontar para o enfraquecimento da agricultura familiar ou de pequenos e médios produtores, que em geral produzem a maior parte dos alimentos básicos para o mercado interno. Essa mudança pode refletir na estrutura fundiária, nas relações locais e regionais de comércio e serviços, além de poder proporcionar um risco para a segurança alimentar (FORNARO, 2012).

Esse aumento pode ser entendido a partir da ótica da tecnologia que foi empregada nessas áreas, como correção do solo e melhoramento genético de sementes. No final dos anos 70 a EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Goiás) iniciou a assistência rural no sudoeste do Estado, ainda território goiano, e forneceu treinamentos e pesquisas para melhoramentos genéticos, aumentando a produtividade das lavouras na região.

Segundo Rocha e Foschiera (2017), o Tocantins possuía até os anos 90 pouca variedade de sementes, além de poucos produtores especializados que tinham interesse em desenvolver o plantio dos grãos e investir em novas variedades de sementes. As mudanças tecnológicas no cultivo e o desenvolvimento de novas variedades de sementes, adaptadas às condições edafoclimáticas de cada região elevou a produtividade e

consequentemente maior rendimento produtivo. Essas sementes têm como destino outros estados produtores de soja, como Bahia, Mato Grosso e Goiás (FORNARO, 2012).

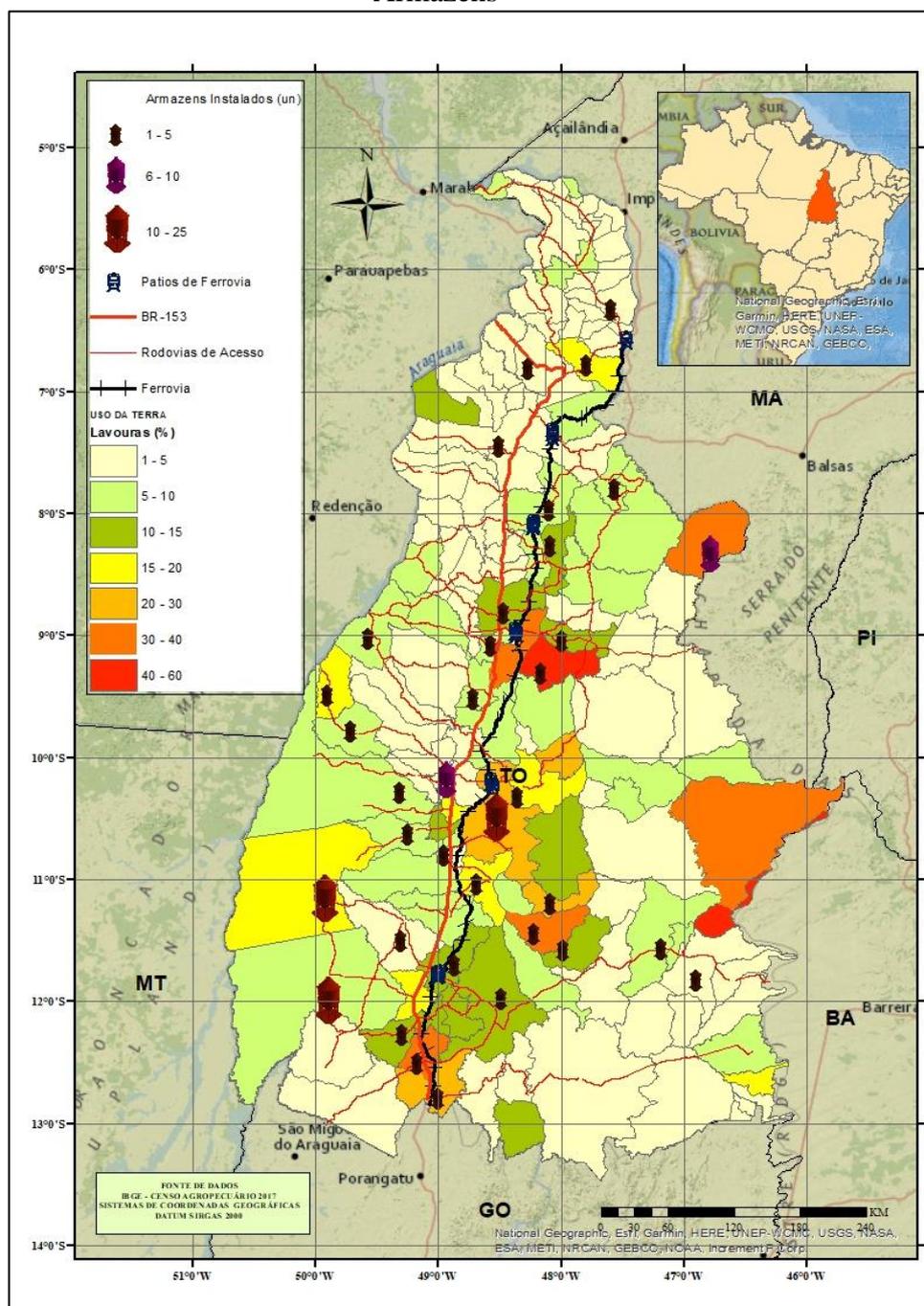
Atualmente, a produção agrícola no Estado de Tocantins está se destacando pelo aumento da produção da soja. Apesar de cultivos como o arroz e o milho ocuparem posição de destaque no Estado, o crescimento da produção de soja está mais diretamente vinculado ao agronegócio modernizado e de exportação. Esse aspecto diferencia a produção sojícola em relação a culturas mais tradicionais e de menor expressão no Estado. O Tocantins, atualmente, é o maior produtor de soja da região norte e na produção de sementes de soja na entressafra é o maior do Brasil.

A Figura 4 mostra o percentual de área classificada como lavoura (temporária e permanente) em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários dos municípios do Tocantins, bem como a localização dos armazéns e silos no Tocantins.

Observar-se que a produção de lavouras e os armazéns e silos instalados acompanham uma linha ainda dispersa ao longo do eixo da BR-153, e os municípios de Mateiros e Campos Lindos, influenciados pela expansão da soja no oeste da Bahia e sul do Maranhão. No entanto, a localização dos armazéns e silos se destacam nos municípios do Prodoeste em Lagoa da Confusão e Formoso do Araguaia (Figura 5).

O estado de Tocantins conta com 170 armazéns (Figura 4) e silos com capacidade para armazenamento de 2.359.137 toneladas. Desses, 135 Silos pertencem as empresas com capacidade de 1.914.513 toneladas, capacidade estática de aproximadamente 30% do estado e 35 são armazéns particulares, com capacidade de 130.775 toneladas, representando 12% da capacidade estática do estado (CONAB, 2020). A porção centro-oeste do Estado se destaca, liderada pela soja para exportação in natura ou abastecimento das processadoras de soja no oeste da Bahia.

Figura 4 - Ocupação da lavoura no território tocantinense e localização de Armazéns



Fonte: IBGE – Censo agropecuário 2017/Base de dados SEPLAN 2012/CONAB 2020 –  
Elaborado pela autora. <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/armazenagem.htm>.

Figura 5 Armazéns e Silos instalados na AEG-01



Fonte: Acervo fotográfico autor

O ponto de partida da expansão do agronegócio se dá pelo processo de modernização do campo, com instalação de infraestrutura e domínio dos métodos de produção. Além do preço baixo da terra e os investimentos em logística, como a construção da Ferrovia Norte-Sul, e a construção de seis terminais de armazenamento e transbordo.

O transporte ferroviário é um importante elemento de competitividade territorial para a produção agrícola, uma vez que esse modal é mais adequado para o transporte de produtos de grande volume e baixo valor agregado a longas distâncias em comparação com a rodovia, facilitando a distribuição da produção dessa área para outras regiões do Brasil e para exportação (FORNARO, 2012).

As instalações dos grandes empreendimentos agrícolas nessas regiões, controlam toda a cadeia produtiva da cultura de grãos, tais, como o arrendamento de terras, controlando o preço da *commodities*, o armazenamento, financiamento para a compra de insumos e maquinários. Tais empresas agem como especulador financeiro, efetuando parte da circulação de seu capital, e também como comercializadoras de matéria-prima agrícola ou de insumos e serviços necessários ao funcionamento do agronegócio.

As grandes empresas do agronegócio, como a Bunge Alimentos, Cargill e Multigrain, dominam o processamento e a exportação de grãos no Estado, estabelecendo uma rede de captação da produção para os portos de exportação da oleaginosa *in natura* ou destinando-a para suas unidades industriais de processamento. Essas mesmas multinacionais detém os armazenadores e silos, imprescindíveis para garantir o escoamento da produção, já que os grãos são voltados principalmente para o mercado externo.

Para Lima (2014) as grandes empresas atuam no arrendando terras, controlando o preço da *commodities*, o armazenamento, financiamento para a compra de insumos e

maquinários, criando uma lógica de concentração de capital no campo. Esse circuito se completa, enfim, com sua presença na esfera da industrialização e da comercialização de produtos elaborados, além do controle do sistema de logística, no transporte e distribuição da produção agrícola.

Os sistemas logísticos permitem a ação de grandes empresas do agronegócio (*tradings* e agroindústrias) nas áreas de fronteira agrícola e são resultado de decisões do setor público que, em grande parte, viabiliza os investimentos em infraestrutura. Essas empresas acabam por dominar boa parte dos circuitos espaciais produtivos, definidos pela circulação de bens e produtos, mostrando o uso diferenciado do território por parte das empresas, instituições e indivíduos (SANTOS & SILVEIRA, 2001).

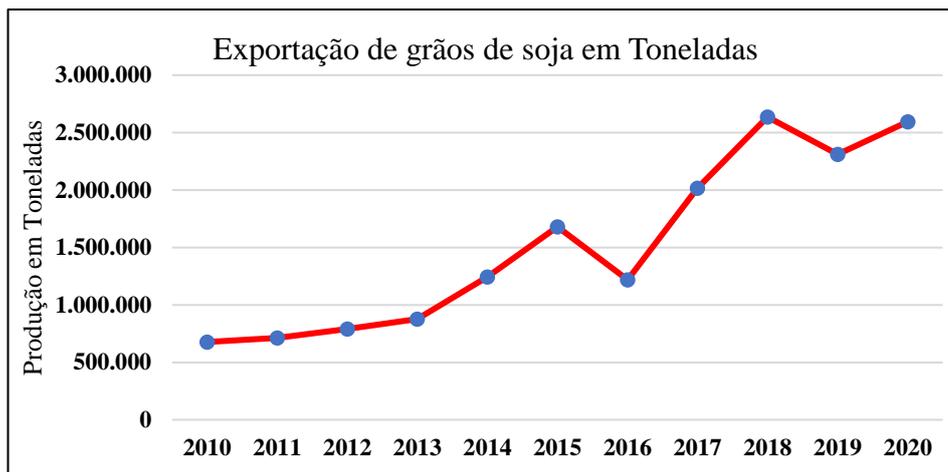
No Tocantins, a soja representa aproximadamente 70% das exportações desde 2009 (TOCANTINS, 2012b). Os grãos, uma vez colhidos, podem ser armazenados por períodos relativamente longos sem a perda de suas propriedades. A capacidade de armazenamento de grãos é condição estratégica para a expansão da produção e o controle dos fluxos, no tempo e no espaço, ficando os produtores dependentes das grandes empresas que controlam a maior parte do armazenamento a granel no Estado de Tocantins (FORNARO, 2012).

A demanda por sementes e os programas de incentivo agrícola como o PRODECER alavancaram ainda mais a produção agrícola no Estado, abastecendo as novas áreas ocupadas pela soja, especialmente no município de Pedro Afonso e o aumento das áreas cultivadas no oeste da Bahia.

Para Feitosa (2019), com o aumento do preço destas commodities no mercado internacional, principalmente após 2010, houve profunda expansão nos níveis de área plantada, produção e produtividade. Vale destacar que, nos últimos anos, outros elementos interferiram no aumento de preços e na maior demanda pelo grão brasileiro, dentre eles, o câmbio favorável, quebra da produção argentina, em 2017, e os impasses comerciais entre China e EUA.

Aproximadamente 60% da produção de soja do Estado é destinada ao mercado externo, sendo que não há exportação de óleo e farelo de soja. Em 2013 houve um aumento expressivo na exportação (Gráfico 4), onde os principais destinos da soja exportada são China, Espanha, Países Baixos (Holanda) e Portugal (SECEX, 2019). Em 2018, mais de 2,5 mil toneladas teve como destino a China.

Gráfico 4- Exportação de grãos do Tocantins em toneladas 2010 - 2020



Fonte: Ministério da Agricultura – Estatística do Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Dados organizados pelo autor

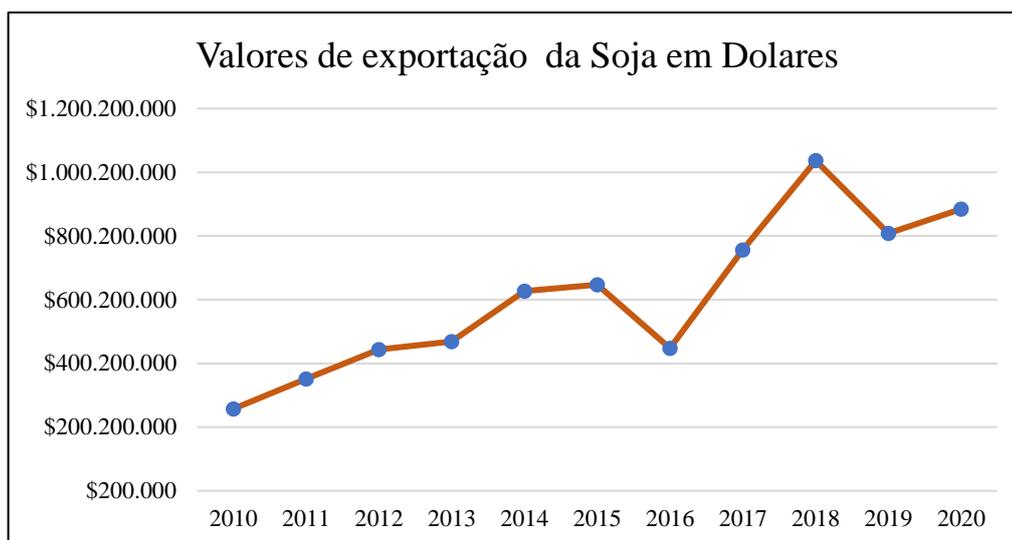
Segundo dados da Secretaria estadual da fazenda do Tocantins, em 2010 a soja representou 74,8% das exportações da produção tocantinense, corroborando o panorama agrícola exportador do Estado.

Os dois destinos principais da soja tocantinense são o esmagamento para mercado interno e exportação in natura. A exportação pelo Porto do Itaqui em São Luís (MA) via ferrovia Norte-Sul é o percurso mais representativo. Como a ferrovia apresenta diversos pontos de estrangulamento, tais trechos são feitos pelo modal rodoviário (SEPLAN, 2017).

Apesar da utilização majoritária do escoamento da produção para exportação estar conectada aos corredores Norte-Sul, outra rota utilizada, é o Porto de Salvador (BA). A soja produzida na região de Mateiros é escoada diretamente para Luís Eduardo Magalhães, onde segue para a unidade processadora ou em natura para exportação.

O Tocantins possui apenas uma unidade de processamento de soja, da empresa Granol, no município de Porto Nacional, que opera um transbordo interligado à Ferrovia Norte Sul, possibilitando a redução dos custos de movimentação do farelo para os portos do Norte, os quais têm uma posição estratégica, localizados próximos aos mercados da Europa, América do Norte e Canal do Panamá, que facilita o acesso ao mercado asiático. A produção da soja, principal produto de exportação do Estado, por exemplo, é responsável por aproximadamente 4% da produção nacional (IBGE, 2012). O gráfico 5 representa a evolução dos valores de exportação no Estado nos últimos dez anos.

Gráfico 5- Valores de exportação de grãos em dólares de 2010 - 2020



Fonte: Ministério da Agricultura – Estatística do Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Dados organizados pelo autor

Contudo, Lima (2014), afirma que o Tocantins é uma área de ocupação recente da fronteira agrícola moderna e sua participação agrícola na pauta de exportação de *commodities* e fornecimento de alimentos para outras regiões do país ainda é baixa.

Embora as políticas públicas, os incentivos fiscais, estoques de terras, sejam fatores importantes na expansão do agronegócio, o estado necessita de melhores instrumentos para a modernização do setor agrícola. Principalmente no setor de ciência e tecnologia, investindo em pesquisas que tragam mais resultados na eficiência da produtividade.

### **CAPÍTULO 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTRATÉGICA DE GESTÃO AEG 01**

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins (PERH-TO) define áreas estratégicas de gestão. A definição dessas áreas é importante para que a gestão possa ser realizada de forma diferenciada, de acordo com as condições específicas de cada área, como disponibilidade hídrica, uso do solo e aptidão agrícola.

A Região agrícola do Rio Formoso é denominada pela Área Estratégica de Gestão-AEG 01 (Figura 6), com uma área de 38.217 km<sup>2</sup>, encontra-se na margem direita do rio Araguaia, na região sudoeste do estado do Tocantins, ocupando a região de várzeas tropicais, compreendendo 7,7% da área total do estado e aproximadamente 5,6% da bacia do Rio Araguaia, com cerca de 377.900 km<sup>2</sup> de área de drenagem.

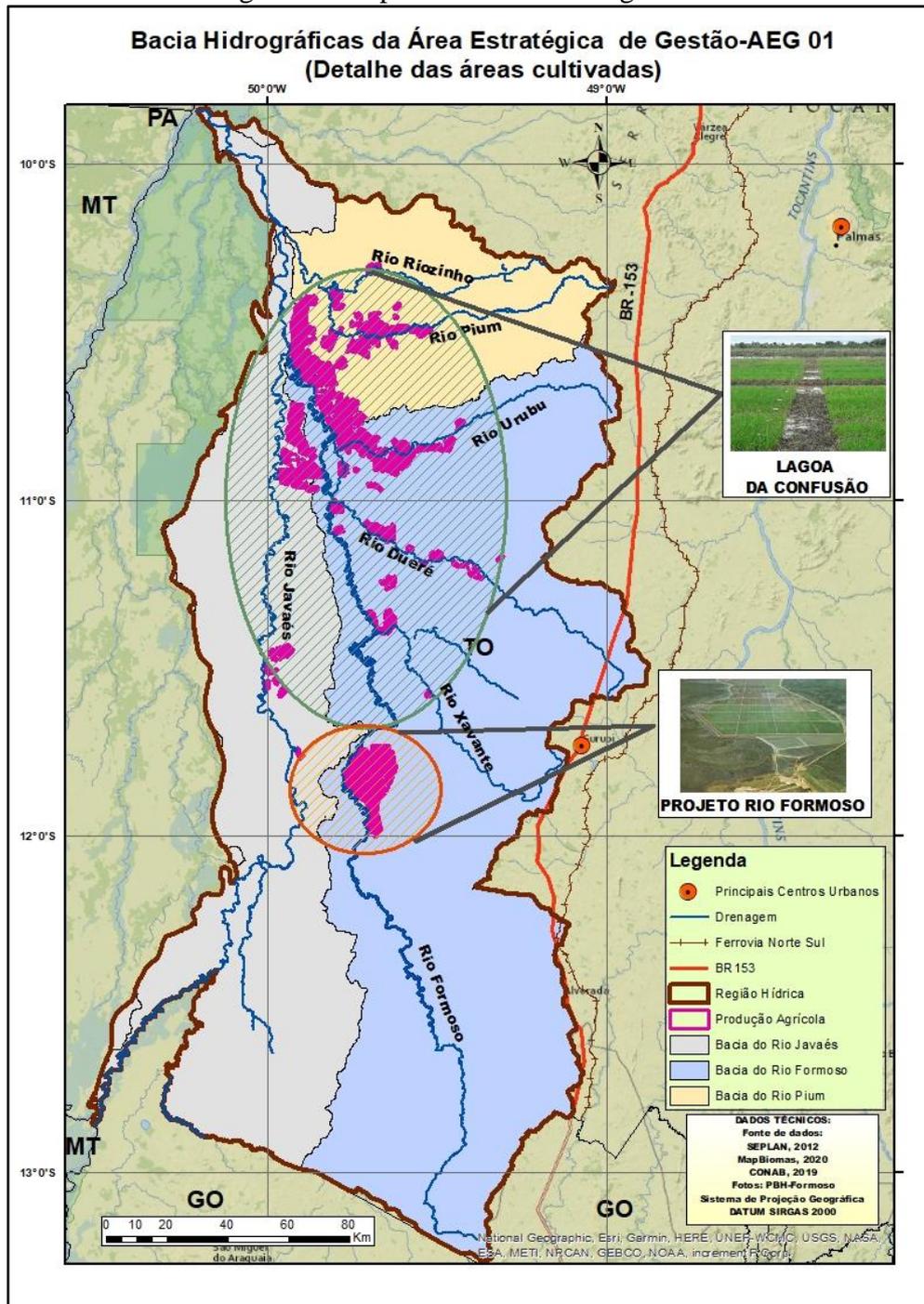
A área é dividida em 03 (três) bacias: Javaés, Pium e Formoso, sendo o Rio Formoso e o Rio Javaés com maiores volumes de água e essencial para a atividade agrícola que contempla a região de Lagoa da Confusão e o Distrito de Irrigação Rio Formoso (DIRF), os principais rios de captação de água são o Rio Formoso, Javaés, Xavante, Dueré, Urubu, Pium e Riozinho.

O regime hidrológico é bem definido em dois períodos, seco de maio a setembro e chuvoso de outubro a abril, que reflete na variabilidade da disponibilidade hídrica dos rios em função das condições climáticas nesses períodos.

As demandas hídricas para irrigação, que representam a principal demanda na bacia, encontram-se concentradas nas sub-bacias dos rios Xavante, Urubu e Formoso, principalmente devido ao plantio de arroz irrigado no período das chuvas e da soja semente no período seco (SEMARH, 2007).

A disponibilidade hídrica superficial é em torno de 35.000 L/s, com 76% comprometida por demandas humanas, sendo a maior parte (96,5%) demandada pela agricultura, basicamente na monocultura da soja e do arroz. Tais atividades possuem alta demanda de recursos hídricos, fazendo com que a irrigação seja a principal demanda pelo uso da água (SEPLAN, 2009).

Figura 6 - Mapa das Bacias Hidrográficas



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2020)

### 3.1 A ocupação territorial na Área Estratégica de Gestão AEG 01

Antes mesmo da divisão do Estado de Goiás e criação do Estado do Tocantins em 1988, a Bacia do Rio Araguaia já estava inserida na política nacional de desenvolvimento do país, definida no III Plano Nacional de Desenvolvimento, para o período de 1980 a 1985. Os objetivos principais do plano eram: a aceleração do crescimento econômico das regiões menos desenvolvidas; redução da pobreza, com melhor distribuição de renda e

melhoria da qualidade de vida; a descentralização das decisões relativas ao desenvolvimento; e a criação de novos polos de desenvolvimento, fora das áreas metropolitanas, para as populações migrantes.

O Ministério do Interior (Minter) juntamente com a assessoria do OEA – Organização dos Estados Americanos - e com a participação dos governos estaduais de Goiás, Maranhão, Mato Grosso e Pará, desenvolveu estudos no Projeto de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Araguaia-Tocantins (Prodiat). O projeto visava o levantamento dos recursos naturais e das condições socioeconômicas, com base para a elaboração de planos regionais, programas de desenvolvimento integrados, projetos públicos e perfis para a orientação do setor privado, principalmente no que se refere ao aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos, envolvendo o desenvolvimento energético, agropecuário e hidroviário.

Estes estudos apontaram para o desenvolvimento da agricultura irrigada no médio Araguaia, especialmente a leste da ilha do Bananal, nas vastas extensões de várzeas planas inundadas durante o período chuvoso.

Em 1979, o então Governo do Estado de Goiás, implantou o Projeto Rio Formoso, destinado ao aproveitamento das várzeas irrigáveis do vale do rio Araguaia, para funcionar como um projeto piloto de desenvolvimento que daria início à implantação de um projeto maior, o denominado Projeto Javaés (não implantado) (SEMARH, 2007).

A infraestrutura de abertura de canais, construção de barragens e instalação do empreendimento agrícola, foi instituído pelo governo do Estado de Goiás, responsável pela elaboração dos estudos técnicos. Porém, com a criação do estado do Tocantins em 1988 a área passa a ser administrada pela nova unidade da Federação.

Embora essas iniciativas governamentais não atingissem plenamente as metas planejadas, foram executadas diversas obras coletivas de uso comum e de infraestrutura básica, além do fornecimento de suporte legal, institucional, técnico e financeiro, o que impulsionou a expansão da atividade, em especial no estímulo ao setor privado por meio de infraestrutura básica e financiamentos, surgindo então novas áreas.

Segundo estudos do Plano de Bacia do Rio Formoso (2007), o Projeto assume importância estratégica singular para o Estado do Tocantins. Excluindo a Ilha do Bananal, que têm 2 milhões de hectares de várzeas, o Estado possui mais 1.400.000 hectares de várzeas, situadas no entorno do Projeto Rio Formoso.

A disponibilidade de recursos hídricos, principalmente o rio Formoso, possibilitou que a região se tornasse uma das maiores em produção agrícola do estado, com grande

representatividade no contexto nacional. Segundo o IBGE (2010), o Projeto Rio Formoso é o maior projeto de agricultura irrigada em terras contínuas da América Latina.

O plano agrícola adotado no Projeto resume-se ao cultivo do arroz irrigado no período chuvoso e soja, feijão, melancia, abóbora, melão e tomate no período seco. Os métodos de irrigação são de inundação para o arroz, com lâmina de água de 10 cm, e sub-irrigação para as culturas do período seco.

A captação de água para irrigação do projeto Formoso é realizada no próprio rio Formoso no período chuvoso, no período seco o fornecimento de água para a irrigação é realizado a partir dos reservatórios. Os sistemas de canais (Figura 7) recebem a água e distribui para todo o distrito de irrigação.

Figura 7- Canal de irrigação do Projeto Formoso



Fonte: Autora (2018)

Após a implantação do Projeto Rio Formoso, a expansão da agricultura ocorreu ao longo do rio Formoso em direção ao município de Lagoa da Confusão por meio da aquisição de áreas particulares. Diferentemente do sistema implantado no DIRF, toda a infraestrutura de irrigação foi implantada pelo setor privado e é constituída por canais menores, e por barramentos auto vertentes nas calhas do Rio formoso e de seus afluentes, rio Urubu, rio Dueré, o que favorece o sistema de subirrigação (Figura 8).

Figura 8- Sistema de barramento no leito do rio



Fonte: Autora (2018)

A área de produção de soja irrigada concentra-se em mais de 90% no município de Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão. Ela é cultivada no período de estiagem e irrigada por subirrigação, nas mesmas áreas cultivadas com arroz irrigado no período chuvoso.

Os sistemas de irrigação por inundação e subirrigação ocupam aproximadamente 85 mil hectares, e tem provocado conflitos relacionados ao uso da água, uma vez que a disponibilidade hídrica no período de seca se agrava mais pela alta concentração de pontos de captação ao longo de toda área de cultivo.

Segundo dados do Projeto Gestão de Alto Nível (2018), o conflito pelo uso dos recursos hídricos naturalmente disponíveis para a produção agrícola na região ocorre nos meses de maior exigência de água pela cultura da soja para seu ideal desenvolvimento e floração, enquadrados entre o mês de maio ao mês de agosto, coincide com os meses de menor índice pluviométrico.

Dessa forma, os volumes dos reservatórios estão bastante reduzidos e as vazões do rio Formoso estão baixíssimas para atender a demanda da cultura. Porém, segundo o plano estadual de irrigação, a soja irrigada tem a vantagem de ser plantada no período

seco para a produção de semente e durante o vazio sanitário<sup>1</sup> devido à condições edafoclimáticas que dificultam a disseminação de doenças fúngicas.

### 3.1.1 Atividade agrícola na região de Várzea no Tocantins

A atividade agrícola no estado ocorre em dois ecossistemas diferentes: terras altas e várzeas. A soja é cultivada em ambos os sistemas, enquanto o arroz é essencialmente nas áreas de várzeas, por sistema de inundação, no período chuvoso entre outubro e abril. A AEG-01 possui as maiores áreas de várzea do estado, fora dela as várzeas são inexpressivas e com baixo aproveitamento agrícola.

As principais culturas agrícolas da área de estudo, tanto pelo valor da produção como pela intensidade da exploração, são o arroz e a soja. As demais culturas agrícolas de expressão na economia estadual, como a cana-de-açúcar, o feijão, são insignificantes ou inexistentes nos municípios que compõem as várzeas.

O gráfico 6 apresenta a evolução do volume da produção de arroz e soja, no período que vai desde da criação do estado, em 1988, até o ano de vigência de 2020. Verifica-se que a entrada da soja no estado ocorre no final dos anos noventa, o que ocorre também na região em estudo, ocupando áreas de plantações de milho.

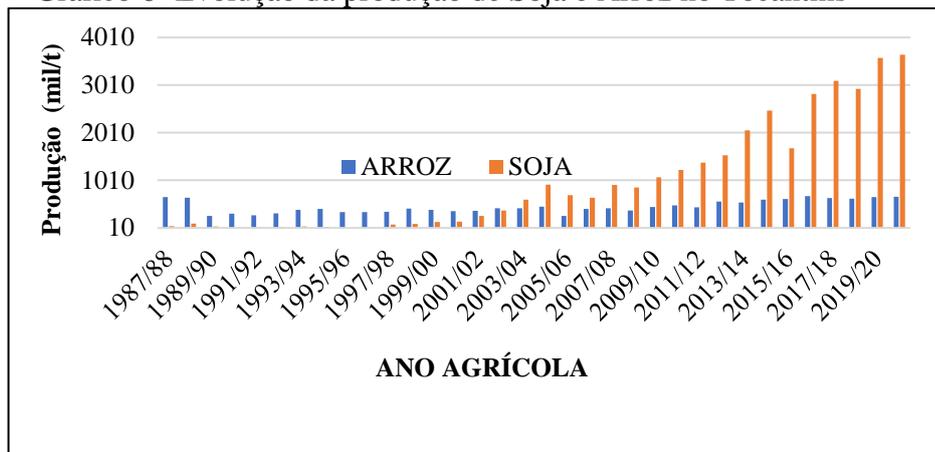
Nos anos em que seu preço internacional se eleva, a soja ganha mais espaço e substitui o milho, em função das possibilidades de financiamento da cultura da soja por parte das grandes empresas processadoras e pelas Trading.Co que operam no mercado internacional de soja e financiam a produção.

A região representa 9% da produção de soja do estado (Sefaz,2019), sendo esta produção voltada para a soja semente, cultivada em duas épocas: na estação chuvosa, em solos com boa drenagem e, no período seco, nas áreas de cultivo de arroz irrigado por inundação. Neste último caso o sistema de irrigação utilizado é o chamado de subirrigação.

---

<sup>1</sup> Período de entressafra, que vai de 1º de julho a 30 de setembro, no qual é proibido o cultivo da soja, com exceção das áreas específicas onde foi comprovada cientificamente que não há proliferação da Ferrugem Asiática. No Tocantins, essa área compreende as regiões de várzeas tropicais, devido as condições climáticas e territoriais da região do Rio Formoso.

Gráfico 6- Evolução da produção de Soja e Arroz no Tocantins



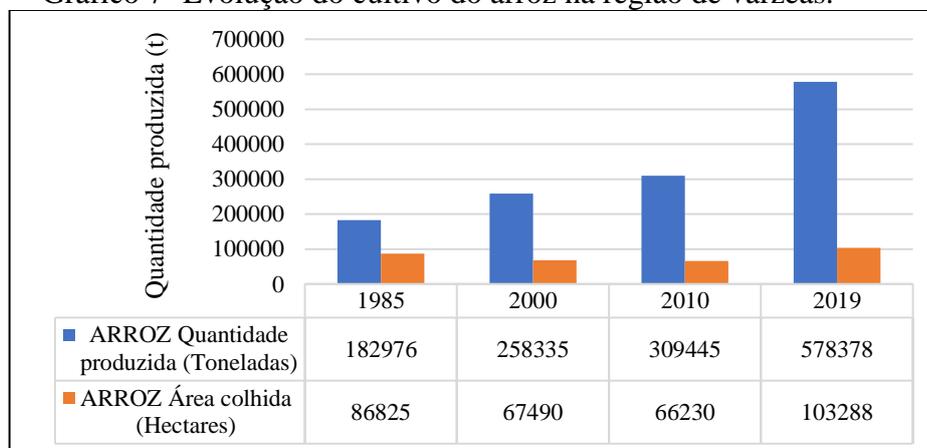
Fonte: Produção Agrícola Municipal – IBGE

A principal cultura agrícola na região de várzea é o arroz, cultivado nos nove municípios que compõem a região. A maior produção está nos municípios de Lagoa da Confusão e Formoso do Araguaia, representando mais de 80% da área de produção do estado. Em 2019 foram produzidas mais de 500 mil toneladas de grãos na região.

Outras regiões do estado praticam a cultura do arroz de sequeiro, como a região de Gurupi. Ao compararmos uma mesma área na região com produção irrigada e de sequeiro, o rendimento médio cai de 5,8 t/ha para 3,5 t/ha.

A evolução do plantio do arroz é mostrada no gráfico 7 é possível observar que, embora a área de plantio ao longo de 34 anos não tenha alterado apenas 16%, a produtividade aumentou em mais de 300%. Esse aumento de produtividade pode ser creditado as novas técnicas e irrigação e manejo de solo aplicados pelas cooperativas e dos grandes produtores, que foram implantadas após a instalação do Projeto Formoso.

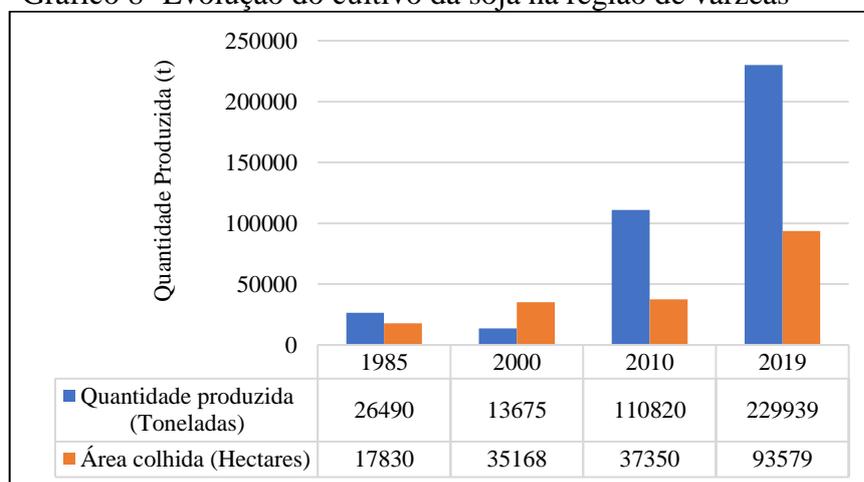
Gráfico 7- Evolução do cultivo do arroz na região de várzeas.



Fonte: Produção Agrícola Municipal – IBGE

Segundo dados da CONAB (2018), a área total de plantio de soja foi de 905 mil hectares, cultivadas nos dois ecossistemas diferentes (terras altas e várzeas), sendo que as áreas de várzeas ocupam 93 mil hectares com uma produção total de aproximadamente 230 mil toneladas de grãos para semente. Produtividade média de 3 ton/ha (gráfico 8).

Gráfico 8- Evolução do cultivo da soja na região de várzeas



Fonte: Produção Agrícola Municipal – IBGE

A vantagem do cultivo em várzeas é pelo fato de ser uma área de solos férteis e boa disponibilidade hídrica, além do cultivo ser realizado durante o vazio sanitário da soja, quando só é permitido o cultivo da soja nas várzeas tropicais. As culturas irrigadas, no município de Lagoa da Confusão, encontram-se, sobretudo, em propriedades privadas que se utilizam da irrigação para cultivo de arroz, milho, melancia e soja.

Segundo dados do IAC no projeto Gestão de Alto Nível (2018), o rio Formoso é atualmente o rio que possui o maior número de outorgas de água para a irrigação agrícola expedidas pelo Naturatins (Instituto Natureza do Tocantins), superando inclusive os rios Araguaia e Tocantins que possuem dimensão e vazão de água muito superiores.

Essa situação ilustra com clareza a importância e o uso intensivo das águas nesta região que, de acordo com o Naturatins<sup>2</sup>, possuía até dezembro de 2017 aproximadamente 456 outorgas de uso da água para grandes e médios produtores rurais, representando aproximadamente 53% do total do estado.

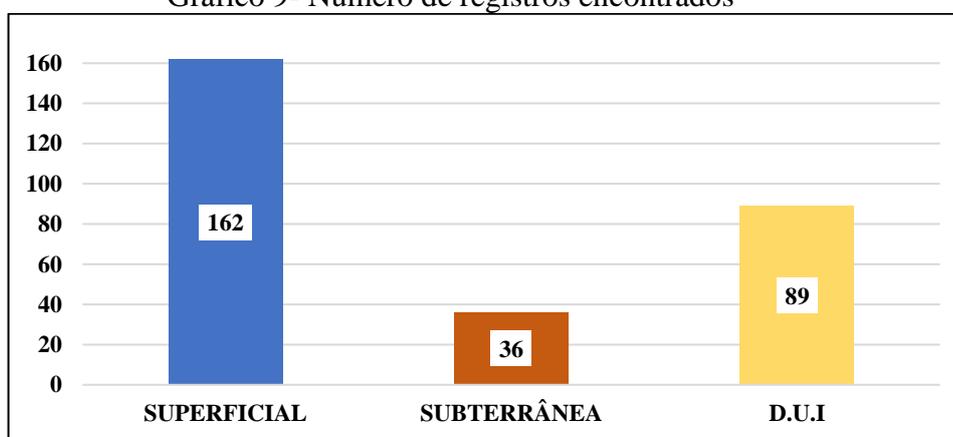
Levantamento de campo realizado pelo Projeto Gestão de Alto Nível cadastrou os pontos de captação superficial e subterrânea e declarações de uso insignificante (DUI) na região (IAC, 2018). O gráfico 9 apresenta os registros de outorgas, por finalidade do uso da água, sendo que as captações superficiais correspondem ao sistema de bombeamento

<sup>2</sup> Dados obtidos no site: <https://sigam.to.gov.br/cadastrousuarioexterno>

nos rios para a finalidade de irrigação e mineração; as captações subterrâneas para uso de abastecimento doméstico, industrial e dessedentação animal; e as declarações de uso insignificante que correspondem aos poços rasos, a Figura 9 mostra a espacialização dos registros de outorga.

As maiores vazões outorgadas em captações superficiais estão sendo captadas na sua maioria no leito do rio Formoso. A maior vazão outorgada para irrigação capta o volume de 370.796,9 m<sup>3</sup>/H, sendo assim as maiores demandas pelo uso da água na região. Embora a presença da pecuária seja significativa, as vazões outorgadas para a dessedentação animal chega apenas 1419,78 m<sup>3</sup>/H.

Gráfico 9- Número de registros encontrados

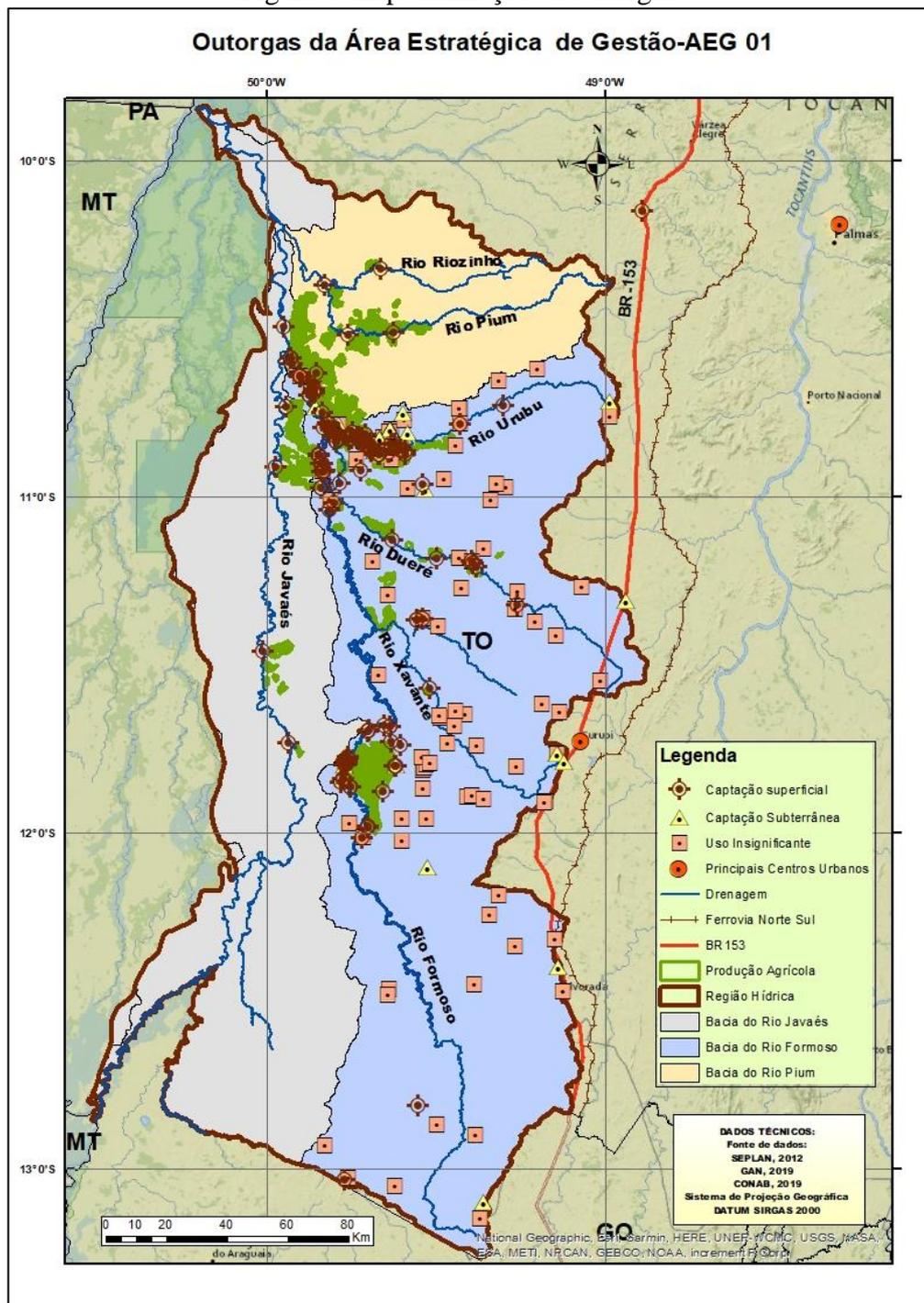


Fonte: Projeto Gestão de Alto Nível/IAC (2017)

O conflito pelo uso da água na agricultura é eminente na região entre os grandes e médios produtores de grãos. Na medida em que a produção avança em direção ao município de Lagoa da Confusão-TO, a necessidade do uso da água para irrigação cresce e gera disputa entre os produtores.

Nos meses de estiagem de chuva, com baixa vazão do rio, a retirada de água para o abastecimento de três reservatórios de água destinados a irrigação para o projeto Formoso (DIRF), a montante de Lagoa da Confusão, acaba sobrecarregando a capacidade de fornecimento do rio no período da seca para as áreas a jusante, aumentando ainda mais os conflitos pelo uso da água.

Figura 9- Espacialização de outorgas



Segundo informações do IAC (2019), como os produtores do município de Formoso do Araguaia captam água antes dos produtores de Lagoa da Confusão, o problema de falta de água em períodos de estiagem tem afetado mais diretamente os produtores rurais localizados no baixo e médio curso dos rios Formoso e Javaés, no município de Lagoa da Confusão, a figura 10 ilustra os bancos de areia formado ao longo do rio.

Figura 10- Médio curso do rio Javaés



Fonte: Acervo próprio autor (setembro/2020)

### 3.1.2 Produção da soja para semente na região de várzea da AEG-01

Segundo diagnóstico realizado pela SEPLAN (2017), as planícies tropicais do norte do Brasil apresentam solos com minerais de argila intemperizados e propriedades distintas daqueles de regiões tradicionais de cultivo, como sul do Brasil, bem como boa disponibilidade hídrica. Tais características possibilitaram a expansão da produção agrícola nessas áreas.

O plantio de soja nessas regiões teve seu foco na produção de grãos para sementes, não havendo, portanto, a produção de grãos para a indústria de beneficiamento e sim para empresas que desenvolvem e comercializam sementes geneticamente melhoradas em pesquisa de campo, e que são destinadas a safras de anos seguintes.

O calendário de produção de soja para sementes no Projeto de Irrigação Rio Formoso ocorre no momento em que em todo o Brasil é obedecido o período do Vazio Sanitário para esta cultura, que vai de 1º de julho a 30 de setembro. Por legislação federal todas as plantas de soja existentes nas propriedades produtoras devem ser erradicadas, por meio de produtos químicos ou equipamentos (HIRAKURI, 2014)

Segundo a SEAGRO, o Tocantins possui a maior área contínua de várzea tropical do Brasil (1,2 milhão de hectares), que apresenta condições favoráveis ao cultivo de soja no período de entressafra sob regime de subirrigação (elevação do lençol freático).

Nestes solos de várzeas a produção da semente de soja teve boa adaptação, devido à incidência da radiação solar por maior tempo, precipitação, baixa amplitude térmica, estabilidade produtiva, tolerância a estresses e a doenças e resistência a herbicidas. Estes

solos se caracterizam pela baixa infiltração e topografia plana, o que permite umidade ideal ao cultivo da soja para a semente.

Na entressafra, a ausência de chuvas, aliada à baixa umidade relativa do ar e à baixa temperatura noturna, tem possibilitado a obtenção de sementes de boa qualidade. Assim, a produção de soja nesse período tem se tornado altamente atrativa para os produtores, em virtude de o preço da soja comercializada na forma de sementes ser compensador (PELUZIO et al., 2010).

Esta produção por subirrigação engloba os municípios de Lagoa da Confusão, Dueré, Pium e Formoso do Araguaia. Há previsão de aumento da área irrigada através dos projetos Rio Formoso e PRODOESTE (Programa de Desenvolvimento da Região Sudoeste do Estado do Tocantins), que tem como meta ampliar de 80 mil para 300 mil hectares de terras baixas por meio de obras de infraestrutura, como reservatórios e mini barragens nos leitos dos rios. A semente que é produzida no estado é utilizada nas lavouras do Tocantins e dos estados de Goiás, Maranhão, Bahia, Pará e Mato Grosso (SEAGRO, 2016).

Segundo Scheeren (2010) o potencial de produtividade agrícola é determinado pela qualidade genética da semente, que poderá garantir maior desempenho no crescimento da planta.

De acordo com a CONAB o valor da saca de soja para semente para o mês de julho de 2021 era de R\$ 320,00 enquanto a saca em grãos no mesmo período era de R\$ 157,00. O alto valor agregado da semente de soja está no fato de conter uma constituição genética de variedade.

### **3.1.3 Produção agrícola no vazio sanitário**

Entende-se por vazio sanitário o período de ausência total de plantas vivas de soja, excluindo-se as áreas de pesquisa científica e de produção de semente genética (situação em que se enquadra o Projeto de Irrigação Rio Formoso), devidamente monitorada e controlada.

A medida adotada pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) é uma proteção que visa minimizar a presença da ferrugem asiática, doença causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow que provocou um prejuízo de 2 bilhões de dólares à sojicultura brasileira na safra 2005/2006 (EMBRAPA, 2013).

O plantio durante o vazio sanitário também oferece segurança na colheita, o que não ocorre com o plantio nas terras altas, quando muito se perde devido à colheita coincidir com o período das chuvas, onde a umidade é um risco para o armazenamento.

O calendário nacional para a cultura da soja obedece a legislação para o zoneamento e plantio da soja durante o ano agrícola, obedecendo a rigorosidade do vazio sanitário imposto para esta cultura.

A principal vantagem relacionada diretamente a sazonalidade climática é que o plantio acontece em maio e a colheita ocorre entre agosto e outubro, perto do plantio da nova safra, permitindo ao agricultor uma semente jovem, com alto índice de vigor e germinação e alta produtividade.

Segundo entrevista com produtores locais, o período curto de armazenamento da semente produzida nas várzeas é um diferencial que favorece o produtor de grãos, pois permite que o desenvolvimento fisiológico e sanitário do material seja diferenciado. Isso faz com que a planta tenha um melhor desempenho, com mais produtividade.

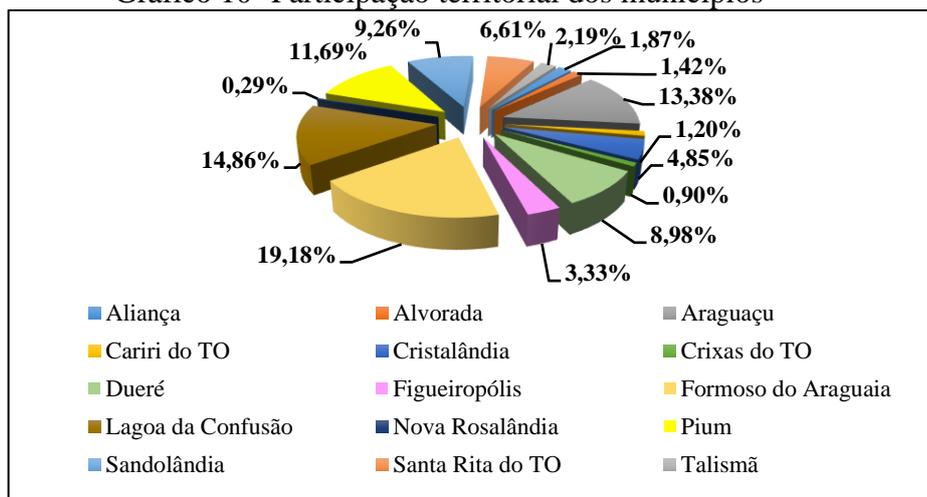
As condições ambientais das várzeas tropicais são totalmente desfavoráveis à sobrevivência e multiplicação de fungos, uma vez que é eliminado pela inundação no verão durante o cultivo do arroz. Além disso, as altas temperaturas durante todo o ano impedem a “frutificação” (apotécios) dos esclerócios.

### **3.1.4 Municípios na Área Estratégica de Gestão AEG 01**

A área de estudo abrange os territórios de 15 municípios tocantinenses: Aliança do Tocantins, Alvorada, Araguaçu, Cariri do Tocantins, Cristalândia, Crixás do Tocantins, Dueré, Figueirópolis, Formoso do Araguaia, Lagoa da Confusão, Nova Rosalândia, Pium, Sandolândia, Santa Rita do Tocantins, Talismã (Figura 11).

No gráfico 10 é ilustrado o percentual de participação territorial de cada município na área de estudo. Os municípios com sede localizadas na área de pesquisa são Araguaçu, Cariri, Cristalândia, Dueré, Formoso, Lagoa da Confusão, Pium e Sandolândia.

Gráfico 10- Participação territorial dos municípios



Fonte: SEPLAN 2012

Os municípios de influência direta na produção agrícola da região e com maior percentual de área são os municípios de Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão, com áreas de aproximadamente 20 a 100 mil hectares, respectivamente, com sistemas de irrigação implantado (SEPLAN, 2009).

Embora, o município de Gurupi, não esteja no território em questão, a rede urbana, a mão de obra especializada, centro tecnológico, e a concentração de renda, faz do município um centro urbano de grande importância para a região.

Segundo dados do IBGE (2010) a população total desses municípios é de aproximadamente 93 mil habitantes (6% da população do estado), sendo 67% nas áreas urbanas e 33% nas áreas rurais. Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão são os municípios com mais habitantes, com 18.399 habitantes e 13.767 respectivamente, segundo estimativa do IBGE para 2020. O IBGE também aponta significativas flutuações populacionais em decorrência da migração ligada as atividades agrícolas, principalmente em épocas de colheita.

De acordo com o IBGE, o PIB e o PIB *per capita* anual desses municípios cresceram nos últimos anos. O PIB de Lagoa da Confusão em 2002 era de R\$ 50.091,00 passando para R\$ 503.230,00 em 2017, enquanto que o PIB *per capita* passou de R\$ 6.854,22 em 2002 para R\$39.290,31 em 2017. Formoso do Araguaia também apresenta aumento no mesmo período, em 2002 o PIB de R\$ 110.456,00 passando para R\$ 400.186,00 em 2017, enquanto que o PIB *per capita* passa de R\$ 5.695,35 em 2002 para R\$ 21.418,63 em 2017.

Figura 11- Mapa dos municípios da Área Estratégica de Gestão-AEG 01

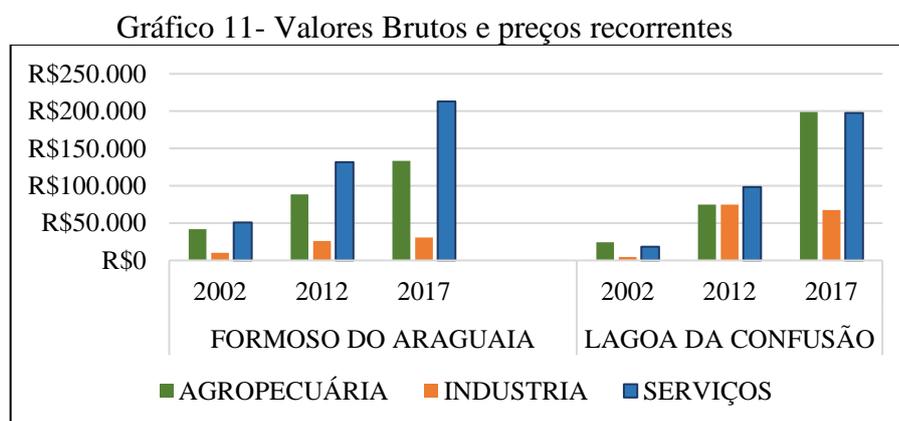


Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2020)

Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão, estão entre os 10 maiores PIB *per capita* do Estado, e apresentam alta arrecadação estadual. Porém, este poder econômico não reflete nos índices sociais, com baixo IDH-M (índice de Desenvolvimento Humano Municipal) variando em torno de 0,33 a 0,67, e baixo índice de infraestrutura, ocupando posições desfavoráveis em relação a outros municípios tocantinenses (SEPLAN, 2017). De acordo com o IBGE<sup>3</sup>, em 2021 o IDH de Lagoa da Confusão é o 82º do Tocantins, e o de Formoso do Araguaia o 34º, estando atrás de grandes municípios como Palmas, Gurupi e Paraíso do Tocantins, mas também de municípios médios e pequenos como Pedro Afonso, Alvorada, Combinado, Fátima, Figueirópolis e Novo Alegre.

As taxas de analfabetismos variam de 26% a 34% na população de 15 anos (IBGE, 2010), dados como esse traduz a estrutura educacional precária. Os sistemas de saneamento, tanto de água tratada e esgotamento sanitário, nas áreas urbanas em média a 60% dos domicílios são inadequados.

A evolução da distribuição do valor adicionado bruto na atividade da Agropecuária e Serviços (administração pública) indica que o setor de Agropecuária atinge o setor de Serviços na medida em que avança na ocupação do território (gráfico 11). Porém a indústria retrai, o que mostra que embora o setor de produção agrícola tenha avançado a indústria de beneficiamento não entra na cadeia produtiva do agronegócio da região.



Fonte: SEPLAN 2017 – Perfil socioeconômico do Tocantins

Esses municípios contribuem significativamente na arrecadação estadual. A agricultura, por exemplo, contribui com 52,83% do total arrecadado no Estado, categoria na qual, despontam os municípios de Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão (SEPLAN, 2017).

<sup>3</sup> Página IBGE Pesquisas <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/lagoa-da-confusao/pesquisa/37>. Acesso em 23/09/2021.

A produção de lavouras temporárias é relevante em quase todos os municípios, em particular nos municípios de Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão, que por sua vez, exerce maior impacto na demanda de água para irrigação. Os municípios de Dueré, Araguaçu, Pium e Cristalândia se destacam na geração de emprego na agropecuária (SEPLAN, 2017).

Segundo estudos realizados pela SEPLAN (2017), os municípios como Araguaçu, Formoso do Araguaia e Dueré tinham como a pecuária bovina uma das suas atividades econômicas mais importantes na geração de empregos, porém, com a modernização dessa atividade, na criação e seleção de raças, a mão-de-obra diminuiu e ficou mais especializada.

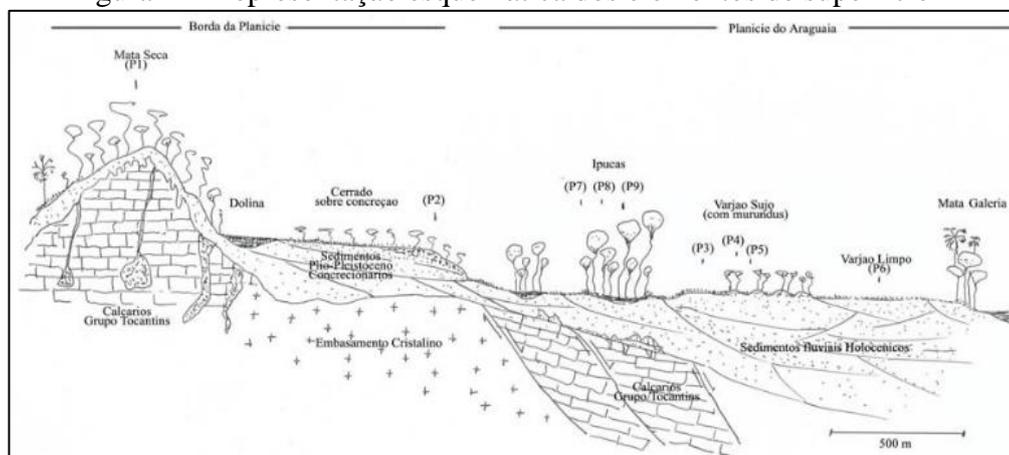
Os dados da Produção Pecuária dos Municípios (PPM) mostraram que o efetivo pecuário nos municípios da região responde por 18% do rebanho bovino do estado do Tocantins, que em 2019 correspondia a 8,4 milhões de cabeças (IBGE, 2019).

### 3.2 Características Físicas

A produção agropecuária tem-se intensificado, aproveitando as vantagens proporcionadas pelo meio físico como a grande disponibilidade de água e o relevo constituído por áreas planas ou ligeiramente deprimidas, que favorecem o cultivo de grão com uso da irrigação.

De acordo com Martins et al (2006), a pedogênese na região da planície do Araguaia é influenciada pelos regimes hidrológicos (lençol freático e transbordamento do leito de rios). A Figura 12 representa a forma esquemática os elementos dos solos, relevo e geologia da região em estudo.

Figura 12- Representação esquemática dos elementos de superfície



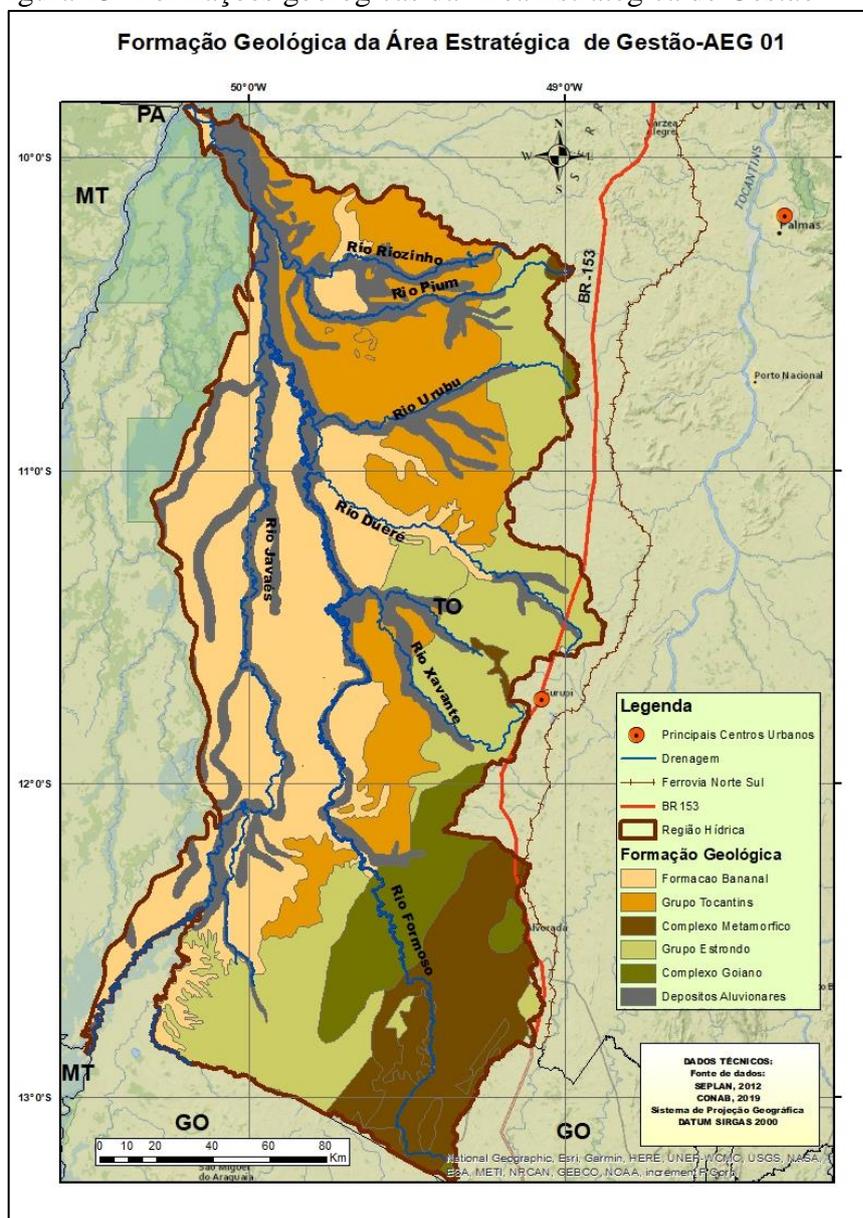
Fonte: Adaptado de Martins et al (2006)

### 3.2.1 Geologia Regional

Os estudos de âmbito geológico disponíveis sobre a região decorrem de diversos trabalhos realizados em escala regional, como o Projeto RADAM BRASIL, com mapa geomorfológico em escala 1:1.000.000 de 1981 e o mapa geológico do Estado de Goiás na mesma escala.

A área de estudo é composta quase que exclusivamente por sedimentos da Formação Bananal, existindo áreas muito restritas de ocorrências de rochas metamórficas dos grupos Tocantins e Estrondo, que constituem, juntamente com as rochas do complexo Goiano/Xingu, o embasamento desta cobertura sedimentar. As características dessas formações estão representadas na Figura 13.

Figura 13- Formações geológicas da Área Estratégica de Gestão



Fonte: Seplan (2012). Elaborado pela Autora 2020

Ao analisar esses mapeamentos observa-se as formações geológicas ocorrentes na região, são grupadas da seguinte forma:

- Formações do Complexo Goiano, Grupo Estrondo e Grupo Tocantins: são constituídas por rochas metamórficas e ígneas, e rochas intrusivas, com as espécies petrográficas, tais como, gnaisses, granitos, xistos, filitos, mármore e quartzitos, ocorrendo de forma generalizadas nas terras altas e de forma localizada nos vales dos rios principais.

- Rochas do Grupo Tocantins: são, em geral, pobres em afloramentos e estes, quando ocorrem apresentam-se geralmente alterados. Clorita-xistos e filitos são as litologias predominantes, apresentando em geral uma coloração esverdeada, sendo amarelados ou avermelhados, quando alterados. São agrupados nesta unidade a ocorrência de calcário dolomítico em Lagoa da Confusão e Formoso do Araguaia, explorada para a produção de brita para a construção civil e de calcário para calagem na agricultura.

- Formação Bananal: são constituídas por rochas sedimentares inconsolidadas basicamente arenitos e siltitos, que ocorrem nas terras baixas nos aluviões atuais, ocorrendo em vastas áreas às margens do rio Javaés e em toda a Ilha do Bananal.

- Aluviões fluviais: ocorrem nas calhas e nas planícies de inundação dos principais cursos d'água. Os depósitos de calha são constituídos essencialmente por cascalhos e areias, com parcelas subordinadas de sedimentos finos (argilo-siltosos), que predominam nas planícies de inundação.

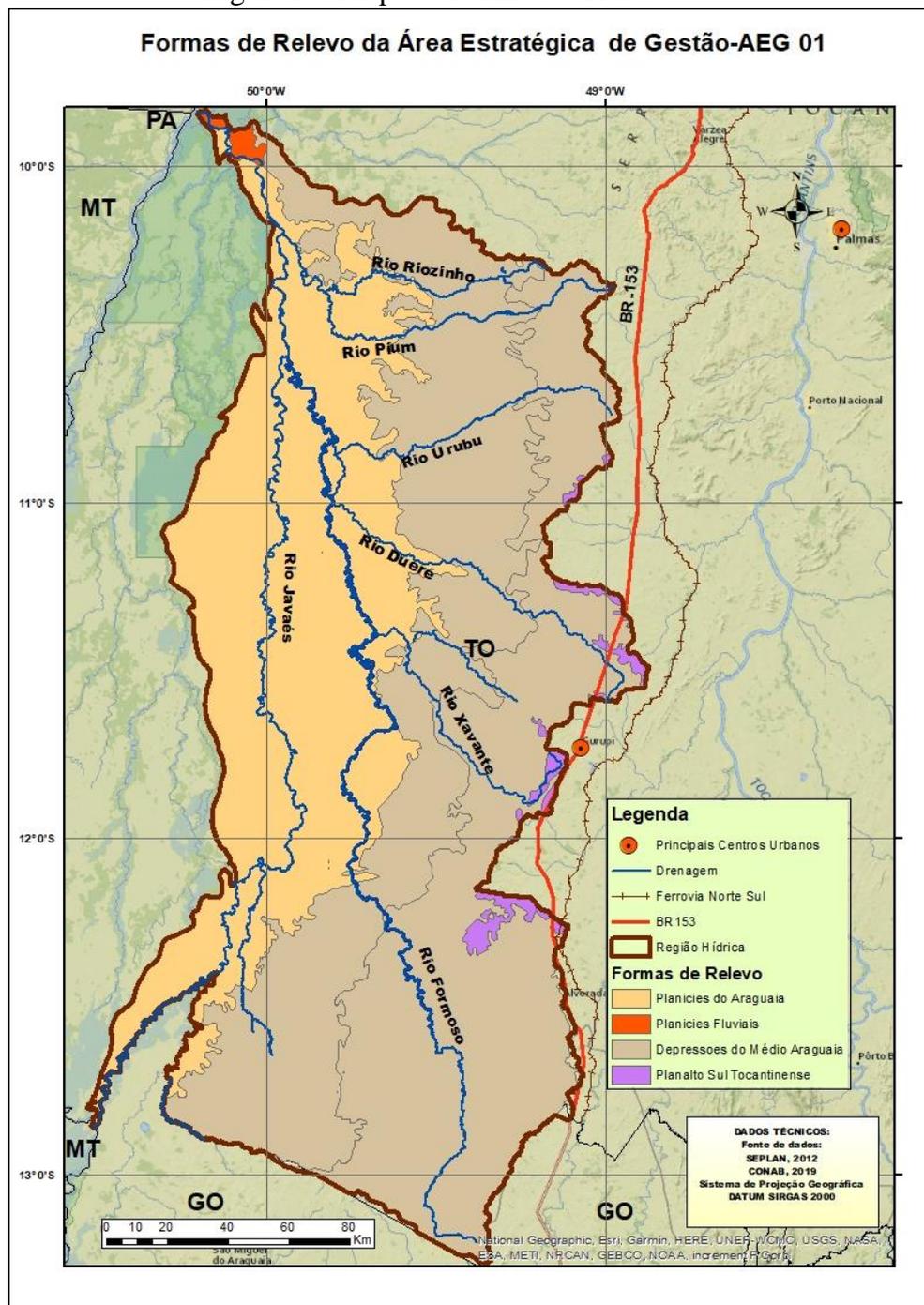
Ao longo do rio Javaés, braço menor do rio Araguaia, nota-se a presença de arenitos e arilitos, fortemente laterizados. No rio Formoso, evidencia-se a presença de rocha arenítica de coloração amarelo-castanhada, muito oxidada, de granulação grosseira, extremamente alterada, muito oxidada, em avançado estágio de laterização. Seus sedimentos são mais antigos e menos sujeitos a retrabalhamentos que os aluviões holocênicos que formam as atuais planícies de inundação, encontradas ao longo dos diversos rios que drenam a região.

Os estudos regionais definiram estes depósitos sedimentares como sendo uma peculiar feição geológico-geomorfológica, correspondendo a uma exceção na sedimentação aluvionar normal de um grande rio (SEPLAN, 2006). Estes depósitos caracterizam por um pacote areno-argiloso inconsistente, com coloração variada, muitas vezes em estágio de laterização.

### 3.2.2 Geomorfologia

As formas de relevo da área de estudo concentram-se basicamente em duas morfoesculturas, Planícies do Araguaia e Depressões do Médio Araguaia (Figura 14).

Figura 14- Mapa de Formas de Relevo



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2020)

A planície fluvial, propriamente dita, corresponde a faixa de sedimentos marginais aos principais cursos d'água, sendo este compartimento caracterizado pela presença de lagos de barragens, lagos de meandros, meandros colmatados e diques

fluviais, com as presenças de ilhas e a formação de bancos de areias de grandes extensões, no leito do rio (SEPLAN, 2017). A estrutura geológica é composta por rochas sedimentares e materiais inconsolidados de depósitos aluvionares da planície do Araguaia de formação bastante recente (Quaternário). Assim, são terrenos de muito alta suscetibilidade a erosão.

A porção denominada de Depressões do Médio Araguaia, tem como características os substratos de rochas metamórficas resistentes que deram origem a Latossolos e algumas manchas de Argissolos, constituída por uma mescla de materiais areno-argilosos, ocasionalmente cascalhos, concreções ferruginosas da cobertura detrítico-laterítica, pacotes areno-argilosos, arenitos e argilitos da Formação Bananal e siltitos, argilas, areias e cascalhos distribuídos ao longo das drenagens das coberturas aluvionares (SEPLAN, 2017)

SEPLAN (2012) define as quatro unidades geomorfológicas principais para a área de estudo (Figura 14) :

- Formas estruturais: Formas de relevo cuja topografia é condicionada pela estrutura, cujos processos morfodinâmicos geram formas em conformidade com a estrutura geológica. As camadas mais resistentes sobressaem no relevo.
- Formas erosivas. Formas de relevo relacionadas a processos predominantemente erosivos, em que houve um rebaixamento das saliências, tendendo ao nivelamento do relevo. São as formas predominantes na depressão.
- Tipos de dissecação: feições de relevo entalhadas pelos agentes erosivos, principalmente ao longo da rede hidrográfica, havendo dissecação diferencial do relevo.
- Formas de acumulação: Relevos resultantes do depósito de sedimentos, em regiões fluviais, paludais e lacustres, normalmente sujeitos à inundações.

As planícies fluviais encontram-se predominantemente em áreas de declividade muito pequena, menores que 0,5% no sentido Sul-Norte, com algumas porções suavemente onduladas, provocadas pela ocorrência de depressões e cursos de água abandonados.

A unidade morfológica sobre a qual estão implantados os sistemas de irrigação são caracterizados por uma planície flúvio-lacustre, com inúmeras lagoas e canais intermitentes, com padrão de drenagem alinhados, sujeitos a inundações locais em estações chuvosas.

A característica predominante nas formas de relevo da região é de superfícies planas a suavemente onduladas (Figura 15), com declividade de 0% a 10% que permite o emprego de todos os tipos de máquinas e implementos agrícolas ordinariamente utilizados, não oferecendo impedimentos relevantes à mecanização.

Declividade moderada com até 15% em pequenas áreas isoladas da região, nessas áreas a mecanização é utilizada, com restrições de drenagem e pouca profundidade do solo, o que podem ser mais suscetíveis aos processos erosivos.

Figura 15 – Planície Fluvial na AEG-01.



Fonte: Acervo próprio

A Figura 16 apresenta as classes de declividade com as dominações A, B, C (SEPLAN, 2012), cada classe tem as seguintes características:

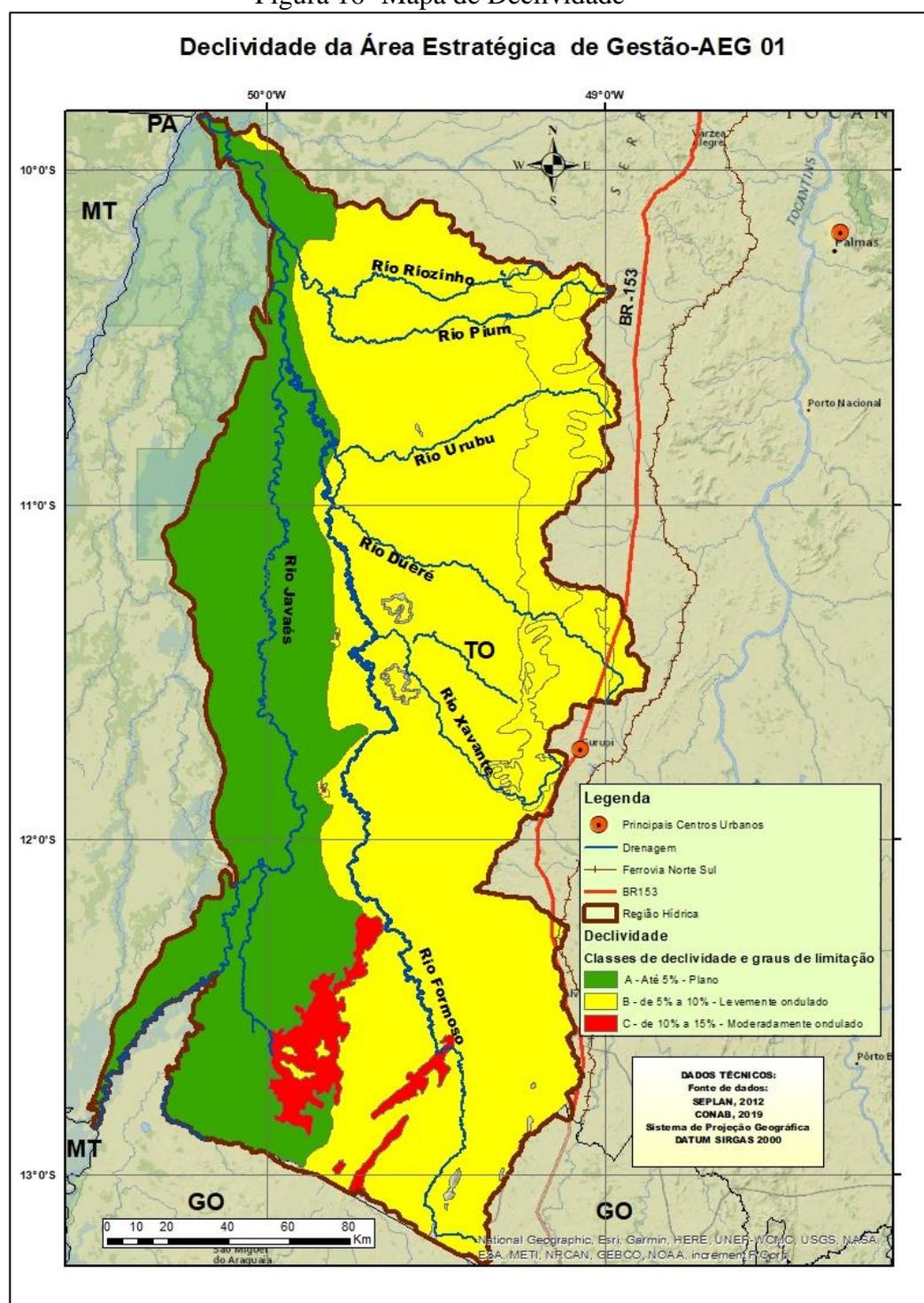
- A (declive igual ou inferior a 5%): predominância de áreas com declives suaves, o escoamento superficial é lento, pouca erosão hídrica, com práticas mais simples de conservação são recomendáveis, algumas medidas de contenção como terraços são indicados para áreas mais erodíveis. Predomina na Planície do Araguaia.

- B (declive maior que 5% e igual ou inferior a 10%): predominância de áreas com superfícies inclinadas, geralmente com relevo ondulado, nos quais o escoamento superficial é médio ou rápido, a erosão hídrica oferece pequenos problemas, mas, práticas complexas de conservação do solo são necessárias para que terras com esse declive possam ser cultivadas intensivamente. Predomina na Depressão do Médio Araguaia.

- C (declive maior que 10% e igual ou inferior a 15%): predominância de áreas inclinadas, cujo escoamento superficial é rápido na maior parte dos solos, são facilmente erodíveis, exceto aqueles muito permeáveis e não muito arenosos, como alguns latossolos. São recomendadas, práticas de conservação do solo. Ocorre em alguns

terrenos da Depressão do Médio Araguaia ao sul da área, associadas as formas de relevo estruturais.

Figura 16- Mapa de Declividade

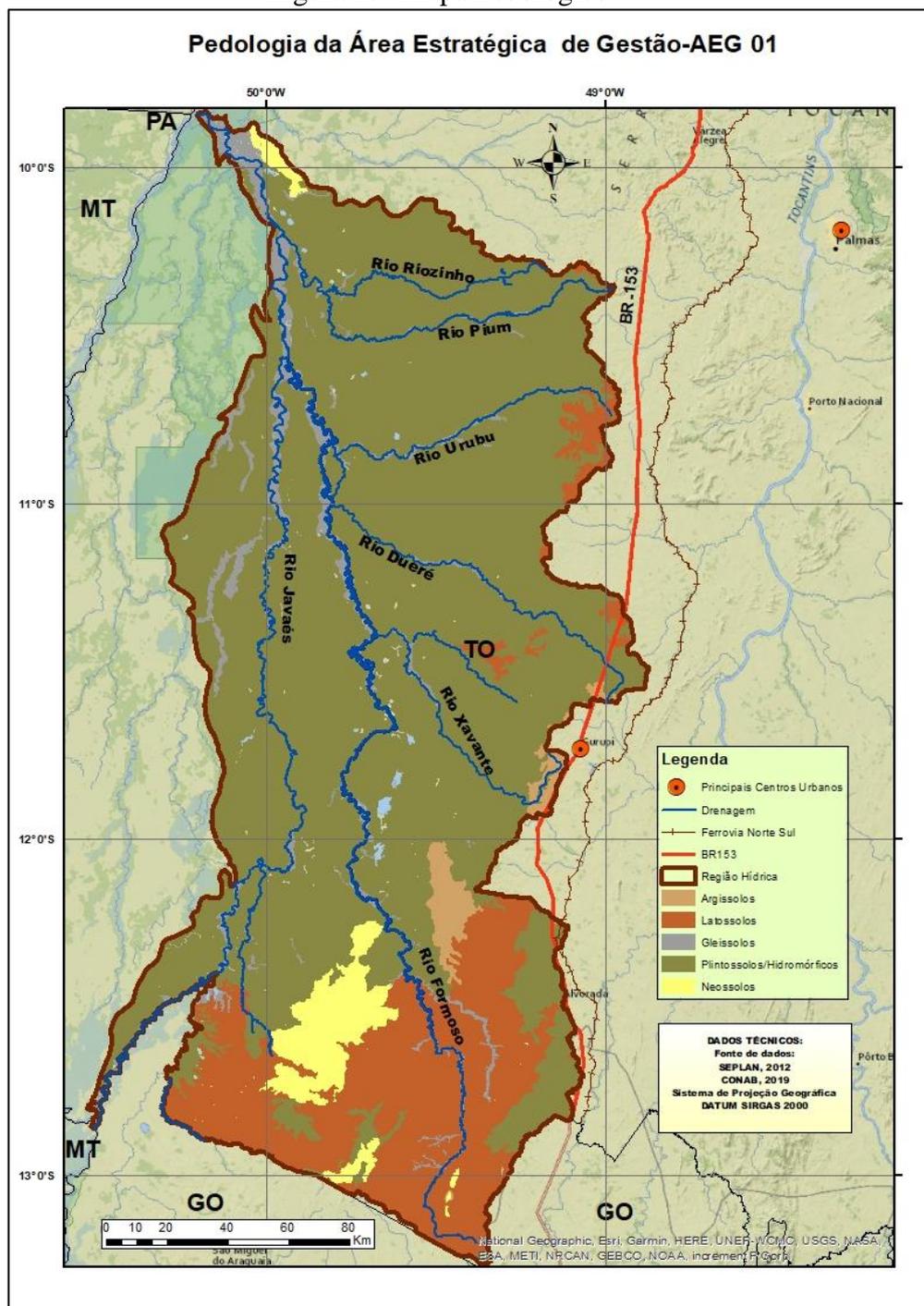


Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2020)

### 3.2.2 Pedologia

Segundo os estudos pedológicos da SEPLAN (2012) os solos predominantes na planície aluvial são o plintossolo, cambissolo plântico, solos hidromorficos gleizados, com nível do lençol freático superficial, apresentando dificuldade na drenagem e inundações periódicas (Martins et. al, 2006). Os solos encontrados em terras altas são os solos concrecionários, latossolo vermelho-amarelo e podzólicos (Figura 17).

Figura 17- Mapa Pedológico



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2020)

Os plintosolos são amplamente dominantes na planície aluvional ocupando mais de 80% do território tendo como material originário sedimentos aluviais relacionados às várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado e menos frequentemente ondulado, em zonas geomórficas de depressão em encostas ou áreas de surgentes, sob condicionamento quer de oscilação do lençol freático, quer de alagamento ou encharcamento periódico por efeito de restrição à percolação ou escoamento de água. São típicos de zonas quentes e úmidas, com estação seca bem definida ou que, pelo menos, apresentem um período com decréscimo acentuado das chuvas.

Estão incluídos nessa classe solos que eram reconhecidos anteriormente como Lateritas Hidromórficas de modo geral, que ocorrem extensamente nas áreas de plantio de grãos, são pouco profundos, bastante intemperizados, apresentam plintita, situada imediatamente abaixo do horizonte A, rico em óxidos e pobre em húmus, de coloração avermelhada.

Na época chuvosa são encharcados (Figura 18), em função de ocuparem as cotas mais baixas do terreno, em relevo plano, admitindo apenas o cultivo do arroz irrigado por inundação, devido às suas características hidrófilas.

Figura 18- Solos encharcados

A) Planície encharcada



B) Detalhe do solo



Fonte: Acervo próprio

No período seco do ano, havendo disponibilidade hídrica, podem ser exploradas diversas culturas na mesma área, tais como soja, milho, feijão, melancia, melão e tomate, dentre outras.

Nesse caso, devido às características muito peculiares dos solos, é realizada a subirrigação, ou seja, a água é mantida nos canais e drenos da lavoura, elevando o lençol freático e possibilitando a ascensão da umidade por capilaridade até a zona em que se encontra o sistema radicular das culturas.

Nestes solos também há intensa produção de arroz em áreas mais alagadas. O calendário agrícola prevê a semeadura do arroz em torno de 1º de novembro e das culturas de entressafra em 1º de maio, na mesma área.

Gleissolos ocupam áreas menores, compreendem solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro de 150cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E, com ou sem gleização, ou de horizonte de coloração escura.

Os solos dessa classe encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água, ocorre ao longo dos leitos dos rios Araguaia, Javaés, Formoso e afluentes principais. A água permanece estagnada internamente, ou a saturação é por fluxo lateral no solo. Em qualquer circunstância, a água do solo pode se elevar por ascensão capilar, atingindo a superfície. São solos poucos desenvolvidos, sobre grande influência de lençol freático próximo à superfície, pouco permeáveis, mal drenados, com valores variáveis de saturação e soma de bases e saturação com alumínio inferior a 50%.

O processo de gleização implica a manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido à redução e solubilização do ferro, permitindo a expressão das cores neutras dos minerais de argila, ou ainda a precipitação de compostos ferrosos (SEPLAN, 2015).

Latosolos são comuns na área de estudo nos terrenos mais altos e levemente ondulados (dissecados), altamente intemperizados são geralmente de baixa fertilidade natural e saturação de bases também baixa quando comparados a outras ocorrências desses mesmos solos, sendo comuns solos com elevada saturação por alumínio.

A textura é muito variada, embora a maioria dos solos sejam de textura média, havendo registro de teores de argila variando de 15 até mais de 38%, a textura argilosa torna ainda mais pesada a camada inferior do solo que aliada a dificuldade de escoamento e grande concentração pluviométrica em período curto, favorece a elevação do lençol freático e encharcamento do solo.

Em consequência, as opções de plantio de cultura são limitadas ao arroz, no período de chuvas. Nas áreas próximas aos cursos de água, os solos apresentam textura arenosa, com predomínio de areia grossa.

A drenagem desse solo é variável em função da textura mais leve, caracterizando pela baixa capacidade de retenção de nutrientes no processo de lixiviação, baixa reserva de nutrientes solúveis e baixa capacidade de retenção de água.

Os solos Concrecionários e Petroplintossolos, predominam em terras altas, ocupadas pelas pastagens, são rasos e com ocorrência de grande quantidade de concreções ferruginosas de tamanho de cascalho a seixos, ocupando a camada agricultável do solo em todo o perfil, o que acarreta diminuição significativa do volume real de terra, assim como da profundidade efetiva, condicionando sérias limitações ao uso agrícola SEPLAN (2017).

### 3.2.4 Erodibilidade dos solos

O comportamento de um solo frente aos processos erosivos é um indicador importante da vulnerabilidade ambiental em um dado local, definindo seu grau de susceptibilidade. De acordo com as respostas a uma ação, atividade ou fenômeno, os solos podem ser classificados com maior ou menor susceptibilidade a sofrer um impacto provocado por um uso antrópico (TAGLIANI, 2003; MMA, 2007).

O mapa de erodibilidade representa os efeitos dos processos erosivos numa determinada área a partir das caracterizações de solo e topografia. Para Lal (1988), as propriedades e comportamento dos solos indicam áreas mais susceptíveis ao processo de perda de solo, representando o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e transporte de partículas, portanto, refere-se à sua predisposição à erosão.

A capacidade de um solo resistir à erosão é avaliada pela estabilidade de seus agregados e está relacionado com as características físicas de densidade, porosidade, aeração e capacidade de retenção e infiltração de água no solo e sua disponibilidade de nutrientes (CAMPOS, 2012; D'ANDRÉA et al., 2002). Dessa forma, solos com melhor agregação têm menor erodibilidade.

Áreas classificadas como vulneráveis são aquelas que mesmo em condições de paisagem natural apresentam solos jovens e pouco desenvolvidos, com pequena evolução dos perfis de solo, a exemplo, dos Neossolos e Organossolos (CREPANI et al., 2001).

A Figura 19, apresenta o mapa de erodibilidade da área em estudo, com 6 classes determinadas em função da capacidade do solo sofrer processos erosivos (SEPLAN, 2012). As classes de erodibilidade da AEG-01 são assim definidas:

Muito Fraca/Ligeira: onde se encontra os solos mais profundos e permeáveis, ocupados por atividade agrícola. Ocupa grande parte da área de estudo, principalmente da formação bananal e nas formas erosivas da Depressão do Médio Araguaia.

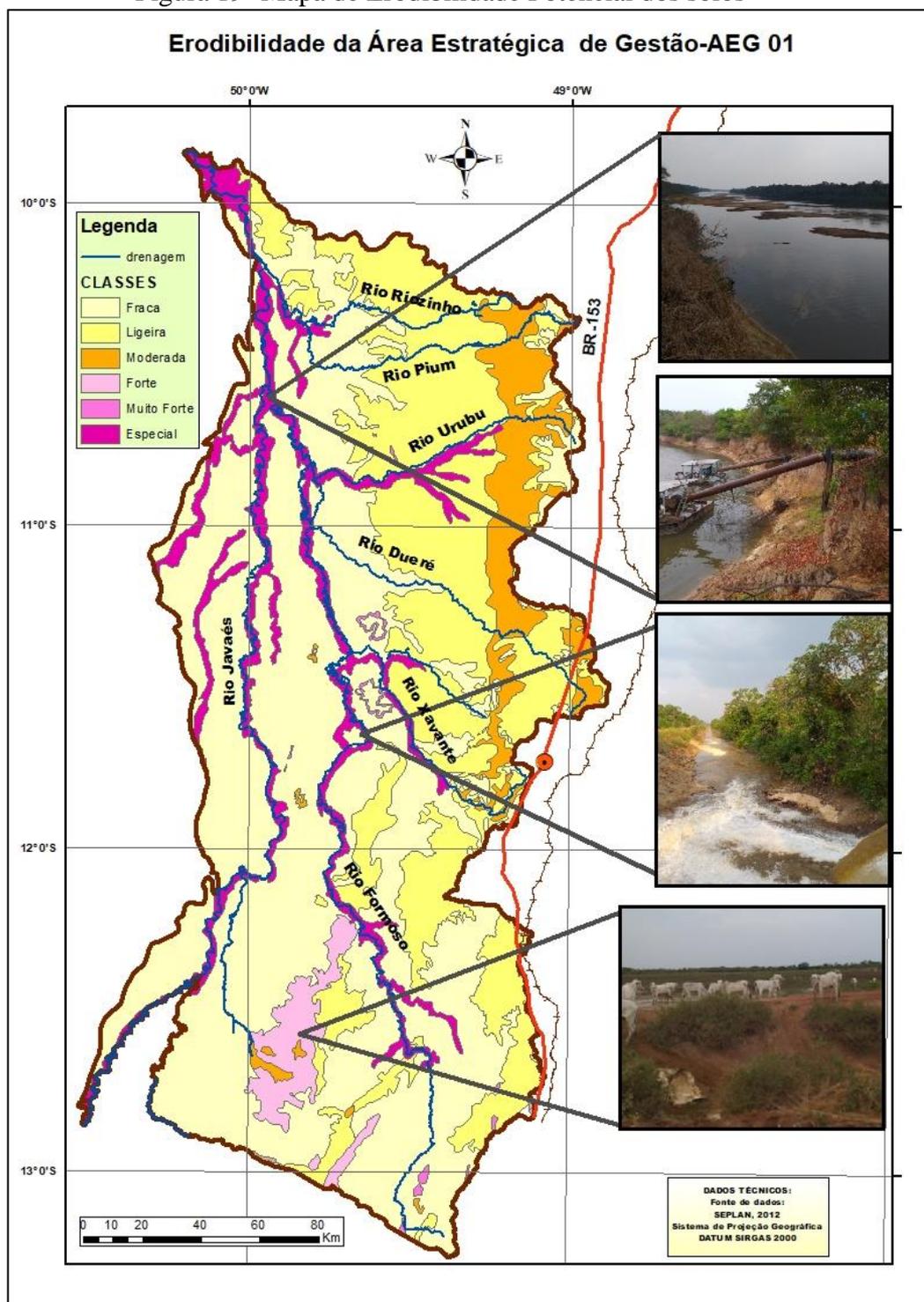
Moderada: solos pouco profundos, com diferenciação no perfil ocorre em partes mais onduladas até 20% de declive. Ocupados pela pecuária em sua maioria ocorre nos terrenos mais altos dissecados da Depressão do Médio Araguaia, muitas vezes em contatos com o Planalto Sul Tocantinense.

Forte/Muito Forte: são solos pouco profundos, com drenagem moderada, possuem poucos agentes agregadores e uma estrutura maciça, ocorrem em relevo forte ondulado com declives de 20 a 45%, com permeabilidade restrita, o que os torna muito erodíveis. Ocupados por áreas de pastagens, ocorrem ao sul da área, com principal atividade econômica sendo a pecuária, em morfologias estruturais da Depressão do Médio Araguaia.

Especial: solos mal drenados com altura do lençol freático elevado, escoamento concentrado e lento ao longo da drenagem e terraços fluviais e eventuais inundações, com deposição de agentes finos. São áreas dinâmicas caracterizadas por processos intensos de acumulação sedimentar fluvial. Importante salientar também as erodibilidades moderadas e fortes dos terrenos altos, ao longo das principais cabeceiras dos rios que fluem para a Planície.

O cultivo irrigado, concentra-se nas áreas de relevo plano, embora, pelo enfoque topográfico, não seja tão preocupante, o carreamento de sedimentos é provocado pela falta de manutenção dos sistemas de canais de irrigação, uso de maquinários agrícolas pesados e das estradas vicinais sem sistema de drenagem adequados. Estas estradas modificam o percurso natural do escoamento superficial, alteram a capacidade de infiltração da água no solo. Assim sendo, os processos erosivos em vários pontos da bacia hidrográfica potencializam o acúmulo de sedimentos nas áreas mais planas e nas calhas dos rios mais a jusante.

Figura 19- Mapa de Erodibilidade Potencial dos solos



Fonte: Acervo pessoal - próprio autor (2020)

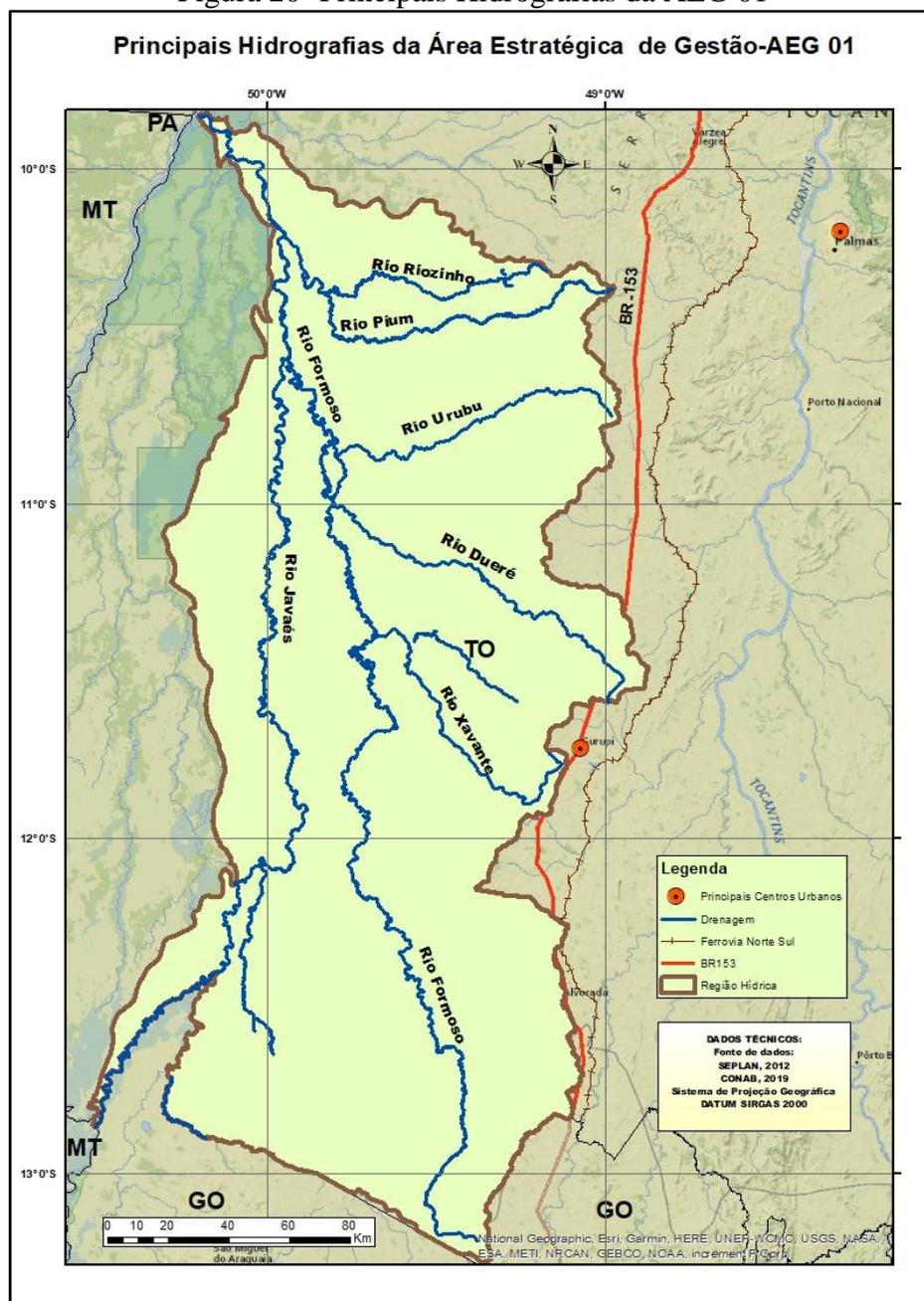
### 3.2.5 Fontes Hídricas

As fontes hídricas da região restringem-se ao rio Araguaia e ao aproveitamento dos cursos de água de maior porte, afluentes da margem direita do rio Javaés e que não apresentam vazões significativas na época de seca. A drenagem secundária é

essencialmente meândrica. Os rios de maior porte apresentam segmentos muito retilíneos intercalados com trechos mais sinuosos.

Os principais cursos de água na área de estudo são os rios Javaés, Formoso, Xavantes, Pium, Riozinho, Dueré e Urubu (Figura 20). O rio Javaés é um braço do rio Araguaia e não seu afluente. O processo de assoreamento no Javaés é contínuo e, no período de chuvas, seu leito se eleva em relação ao leito do rio Araguaia (SEPLAN, 2017).

Figura 20- Principais Hidrografias da AEG 01



Esses cursos de água apresentam altas vazões na estação chuvosa, como nos casos dos rios Formoso e Javaés que chegam a aproximadamente 600 m<sup>3</sup>/s, normalmente transbordando e inundando extensas áreas da planície fluvial. Já na estação seca as vazões são mínimas, alguns deles praticamente sem fluxo de água relevante, como o caso do rio Xavante que 0,09 m<sup>3</sup>/s no mês de agosto (IAC, 2018).

Além dos rios principais, existem cursos de água naturais secundários, denominados localmente como esgotos ou sangas, que servem como canais de desaguamento entre os rios principais, assim como das lagoas que ocorrem na área.

Os solos da planície fluvial apresentam drenagem superficial muito lenta, estando sujeitos anualmente a inundações de intensidade e duração variável. Além das baixas declividades e altitudes, também contribui a presença de camadas plínticas e concrecionárias compactadas no solo. A oscilação do lençol freático normalmente é grande, ficando acima do nível do solo na estação das chuvas e rebaixando período de estiagem.

### **3.2.6 Vegetação**

Segundo o diagnóstico ecológico-econômico do Estado do Tocantins realizado em 2017, a região está inserida no bioma Cerrado, mas em uma zona de transição com o bioma Amazônia, tendo ainda características do bioma Pantanal, em função de suas características. Por se tratar de uma área plana e sujeita a inundações o relevo atua como elemento fundamental nas formações vegetais.

Quanto maior for a umidade do solo, mais predomina a vegetação herbácea; já nos pontos um pouco mais altos, de melhor drenagem, gradativamente a vegetação é ocupada por indivíduos arbóreos do Cerrado.

Segundo o Mapeamento Fitoecológico do Estado (2013), a região possui uma cobertura vegetal de cerrado apresentando uma floresta semidecidual densa aluvial, situada em locais sem influência de inundação, tendo como subformação as matas ciliares que acompanham os rios de médio e grande porte do Bioma Cerrado.

Ocorrem também fragmentos florestais naturais denominados como “ipucas”, denominação regional para fragmentos naturais de Floresta Estacional de Terras Baixas inundáveis, em pequenas depressões, ovais ou circulares, que se localizam na planície do Rio Araguaia, tratando-se de uma floresta de natureza aluvial, sob um regime climático estacional com cinco a seis meses de seca, mas que permanece inundado no período

chuvoso. Estando associadas a solos mais ricos em matéria orgânica de natureza ácida e pobre em nutrientes, com hidromorfismo e grande influência do lençol freático próximo à superfície (MARTINS et al., 2006).

A fitofisionomia das Ipucas aparece em forma de pequenas manchas circulares ou ovaladas, a Figura 21 ilustra a formação de um Ipuca rodeada pela lavoura.

Figura 21 – Formação de Ipucas nas lavouras da AEG-01



Fonte: Acervo fotográfico do autor

Segundo Ribeiro e Walter (1998), as matas secas, também denominadas de Florestas Estacionais Deciduais, ocorrem sobre os afloramentos de rochas calcárias (Figura 22) ou basálticas, que dão origem solos de elevada fertilidade natural quando rasos.

Figura 22– Mata seca e afloramento de rocha calcária na AEG-01



Fonte: Acervo fotográfico do autor

A vegetação do Parque de Cerrado (savana parque), onde encontra-se as áreas de plantio de culturas na área de estudo desenvolve-se sobre solos hidromórficos, sujeito a inundação e apresenta diferentes espécies vegetais de acordo com o grau de encharcamento. A Figura 23 mostra o mapa de tipologias vegetais da área de estudo



indicadas no estudo de uso potencial da vegetação, como áreas prioritárias para preservação da vegetação situada em ambientes de planície aluvial (SEPLAN, 2013c).

Tal diversidade de vegetação também aponta para áreas com alta e muito alta relevância para a conservação, principalmente nas áreas consideradas prioritárias para conservação do Cerrado, como as formações de Ipucas, nos municípios de Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão (WWF, 2015). Assim, políticas de conservação da vegetação nativa devem ser consideradas nos planos de desenvolvimento da região.

### **3.2.6 Unidades de Conservação e Terras Indígenas**

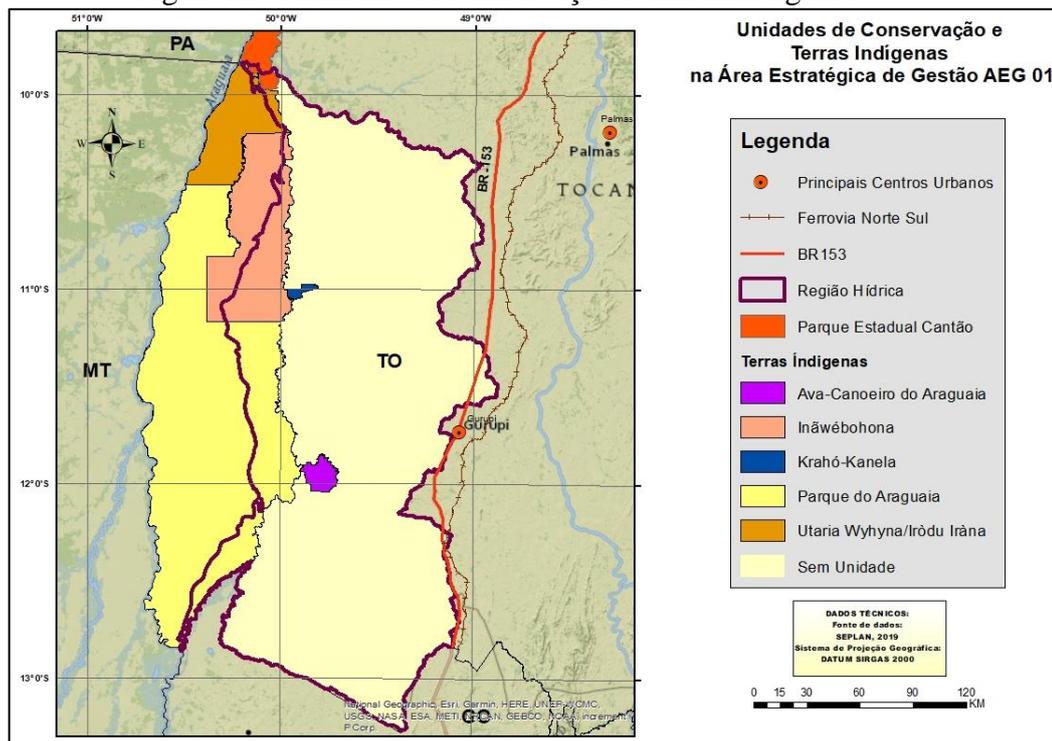
Segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação do ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2010), as Áreas de Proteção Ambiental são constituídas por terras públicas ou privadas, e com certo grau de ocupação humana, tendo como objetivos básicos a proteção da biodiversidade, assegurar a sustentabilidade dos recursos naturais e disciplinar o processo de ocupação em seu interior.

A área em estudo é constituída por áreas de uso restrito (Figura 24), dentre elas a Terra Indígena do Araguaia - onde habitam as etnias Ava-Canoeiro, Javaés e Karajá; a Terra Indígena Mata Alagada, etnia Krahô-Canela; e as Unidades de Conservação do Parque Nacional do Araguaia de domínio Federal (Decreto Lei 84.844/80) e do Parque Estadual do Cantão de domínio estadual (Decreto Lei 907/97). Além disso, tem parte da APA Estadual Ilha do Bananal/Cantão, na região rural norte do município de Pium e uma pequena parte da APA Federal Meandros do Araguaia (SEPLAN, 2014).

Embora, apenas uma pequena parte do Parque Estadual do Cantão esteja na área de estudo, as bacias do rio Javaés e Formoso exercem influência direta sobre o parque, uma vez que produzem a maioria das águas que o banham (TOCANTINS, 2001).

Fitogeograficamente, essas áreas estão situadas em zonas de transição entre Floresta Amazônica e o Cerrado, com vegetação e fauna, diversificada. Segundo a Resolução Conama n°13/1990, a área de influência do Parque Nacional do Araguaia compreende uma faixa de 10 Km de largura que acompanha os limites externos da Unidade em todo o seu entorno, bem como outras áreas que possam exercer influência sobre ele.

Figura 24- Unidades de Conservação e Terras Indígenas



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2020)

Ao analisar os dados de produção agrícola fornecidos pela CONAB (2018) observa-se que as áreas de produção agrícola estão avançando cada vez mais sobre estas áreas de proteção ambiental. Segundo dados coletados em entrevista de campo, toda soja produzida nas propriedades visitadas é transgênica e faz uso de defensivos agrícolas como inseticidas, herbicidas e fungicidas.

Assim, são necessários que os planos de manejo, das unidades de conservação da região sejam mais efetivos, com o dimensionamento adequado dos impactos oriundos das atividades antrópicas na área e com propostas de políticas de uso e ocupação que visem a conservação ambiental e uso equilibrado dos recursos naturais.

Um breve levantamento dos estágios atuais dos planos de manejo das unidades de conservação da região indica que atualmente, o Plano de Manejo do Parque Estadual do Cantão está na sua segunda versão, aprovado em 2016. Faz parte do Programa do Governo Federal de Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA), garantindo a aplicação das diretrizes do Plano de Manejo. Enquanto que o Plano de Manejo do Parque Nacional do Araguaia, ainda não foi aplicado adequadamente, estando ainda na sua primeira versão no ano de 2001.

### 3.2.7 Aspectos climáticos

Estudo climatológicos são de grande importância para a compreensão da disponibilidade hídrica na região de estudo, uma vez que os cursos d'água são altamente influenciados pelas condições climáticas e das duas estações, uma de chuva e outra de seca (ANA,2019).

Para Monteiro (2009), o clima é o primeiro aspecto a ser considerado para a definição do tipo de cultura que pode ser explorado numa certa região, da época mais adequada ao cultivo, do nível de produtividade que pode ser esperado e do tipo de sistema agrícola a ser adotado.

A área divide-se basicamente em dois climas, um mais úmido à oeste e o outro mais seco na parte leste, ambos apresentam deficiência hídrica no inverno (maio a setembro), e excedente hídrico no verão (dezembro a março), sendo fevereiro o maior excedente. Esses tipos climáticos consideram as variações no armazenamento de umidade do solo, pelo tipo de cobertura vegetal e de solo (SEPLAN, 2020). Adotando a classificação climática de Köppen-Geiger o município pertence a classe de clima tropical com estação seca de inverno

Quanto os índices de deficiência hídrica média anual correspondem ao balanço hídrico negativo, calculado a partir da evapotranspiração e a precipitação, indicando as localidades onde a precipitação foi inferior a evapotranspiração, ou seja, onde a quantidade de chuva precipitada não foi suficiente para manter o solo com umidade superior ao ponto de murcha permanente. A AEG-01 apresenta valores entre 710 mm a 290 mm, prevalecendo valores entre 465 mm a 710 mm bem distribuídos espacialmente na região.

As condições do tempo num dado ano controlam o sucesso da cultura, definindo: a) o momento mais adequado para as práticas agrícolas; b) o nível de produtividade realmente obtido; e, c) as medidas a serem adotadas para a minimização dos riscos. As principais variáveis meteorológicas que afetam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas são chuva, temperatura do ar e radiação solar (MONTEIRO, 2009).

Quanto a radiação solar, o total anual de horas de brilho solar varia entre 2000 horas e 2600 horas, sendo os maiores valores de insolação do estado. A radiação solar determina as características térmicas do ambiente: temperatura do ar e do solo e duração do dia ou fotoperíodo, fatores importantes para o cultivo agrícola (SEPLAN, 2020)



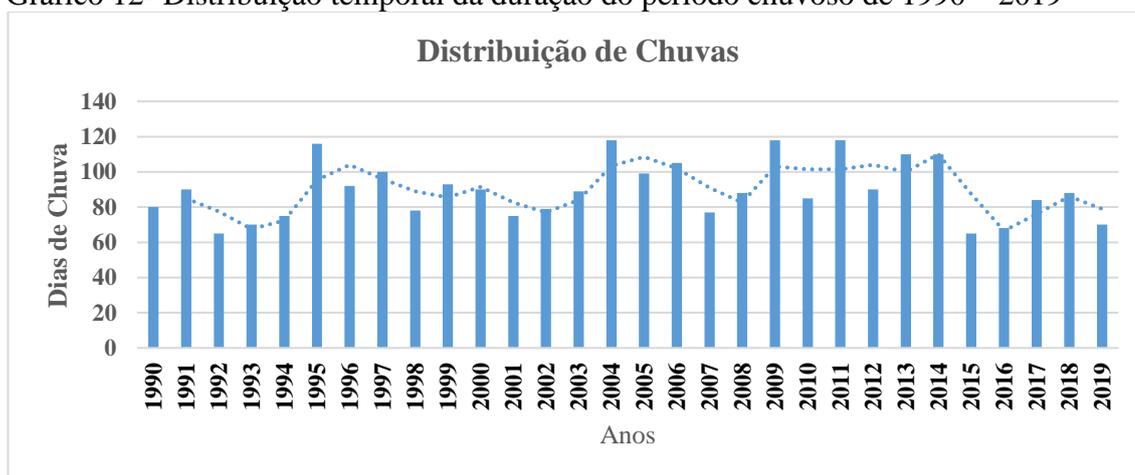
A região apresenta valores anuais acumulados de precipitação pluviométrica, variando de 1400mm a 1790 mm, com período de chuvas bem definidos, entre os meses de outubro e abril, quando são observados 7 a 8 veranicos, em média. Entre os meses de janeiro e fevereiro ocorrem, normalmente, 16 dias com precipitação superior a 1mm (SEPLAN, 2020).

Com temperaturas médias de 26°C, variando de 22°C a 33°C. A evapotranspiração de referência fica entre 910mm e 1110mm, observa-se que na parte oeste, área do PARNA, a evapotranspiração média é em torno de 910 mm. Nestas áreas a umidade do ar é um pouco maior, o que dificulta a evaporação e certamente diminui a evapotranspiração local (SEPLAN,2020).

Segundo a SEPLAN (2020) entre os meses de novembro a abril praticamente não há registro de deficiência hídrica, porém a partir do mês de maio surgem as deficiências atingindo valores de até 190 mm. No mês de agosto esses índices chegam ao limite máximo superando a totalidade da demanda hídrica estimada pela evapotranspiração de referência.

Segundo o diagnóstico climático do estado do Tocantins de 2020, o comportamento temporal da série histórica de precipitação anual entre os anos de 1990 até 2019 (Gráfico 12) indica uma diminuição dos valores de chuva acumulados, conforme IPCC (2014). Essa diminuição foi verificada nos municípios da área de estudo.

Gráfico 12- Distribuição temporal da duração do período chuvoso de 1990 – 2019



Fonte: SEPLAN 2020 - Diagnóstico Climático

Segundo análises dos dados climáticos apresentados pela SEPLAN (2020), as reduções das chuvas foram marcantes nos episódios de 2009/2010 do El Niño que atingiu espacialmente o estado, com desvios negativos de precipitação acumulada nesse período,

ou seja, redução de chuvas, na região. Em 2009, a média climatológica de precipitação foi de 1920 mm e em 2010 foi de 1408 mm, redução de 512 mm nesse período.

Porém no período de 2010/2011 o evento climático La Niña, favoreceu o aumento das chuvas, em 2010 com um média de precipitação de 1408 mm para 1856 mm em 2011, tendo um desvio positivo de 448 mm de chuva nesse período.

Os fenômenos climáticos El Niño e La Niña, influenciam diretamente nos padrões de distribuição e quantidade de precipitação das chuvas, embora tenha ocorrido aumento na média de precipitação no período de 2010/2011 pelo efeito La Niña, a duração do período de chuvas foi menor, média de 160 dias, se comparado aos efeitos do El Niño, com períodos de chuva de 180 dias. Além das mudanças nos padrões de chuvas, ocorrência do aumento de veranicos, de 7 a 8 por ano, passa a até 11 ocorrências de veranicos no período, prejudicando o calendário do cultivo agrícola.

Os dados apresentados na carta climática do Estado (SEPLAN, 2020) apontaram que o período de chuva na região mantém um padrão entre 150 a 205 dias, sendo mais frequente 175 dias. A pequena quantidade de dados prejudica a avaliação desta variável, apenas 10 anos de dados, entre os anos de 2004 a 2018.

Identifica-se na distribuição temporal a influência de um El Niño no padrão comportamental desta variável, constatando-se a diminuição do número de dias de chuva em decorrências dos episódios 2006-2007, 2009-2010 e 2015-2016.

Em anos de La Niña os efeitos não são tão frequentes, verificando-se o aumento nos valores da variável durante os episódios 2010-2011 e 2017-2018. Esta variável aponta a forte tendência de aumento no número de dias de chuva em Lagoa da Confusão, contrariando os relatos do IPCC (2014), mas ainda sim suscitando uma análise da possível ocorrência de mudanças climáticas no Município.

Identificar os períodos de excedente de chuvas e deficiência hídrica, bem como suas respectivas intensidades, possibilita definir o tipo de sistemas cultivo a ser empregado, sequeiro ou irrigado, e o período em que cada um deles deve ser aplicado. Possibilita avaliar, também, os riscos de ocorrência de queimadas e inundações, os períodos de maior fragilidade ambiental e econômico, e ainda, como conduzir a gestão dos recursos hídricos, limitando ou ampliando outorgas (SENTELHAS E MONTEIRO, 2009).

### 3.3 Fragilidade Ambiental da região

Ao analisar as características físicas da região de estudo observamos que de forma geral predominam áreas de média suscetibilidade física, aqui entendido como suscetibilidade a processos hidrológicos e morfológicos (assoreamento, erosão e alterações na dinâmica fluvial).

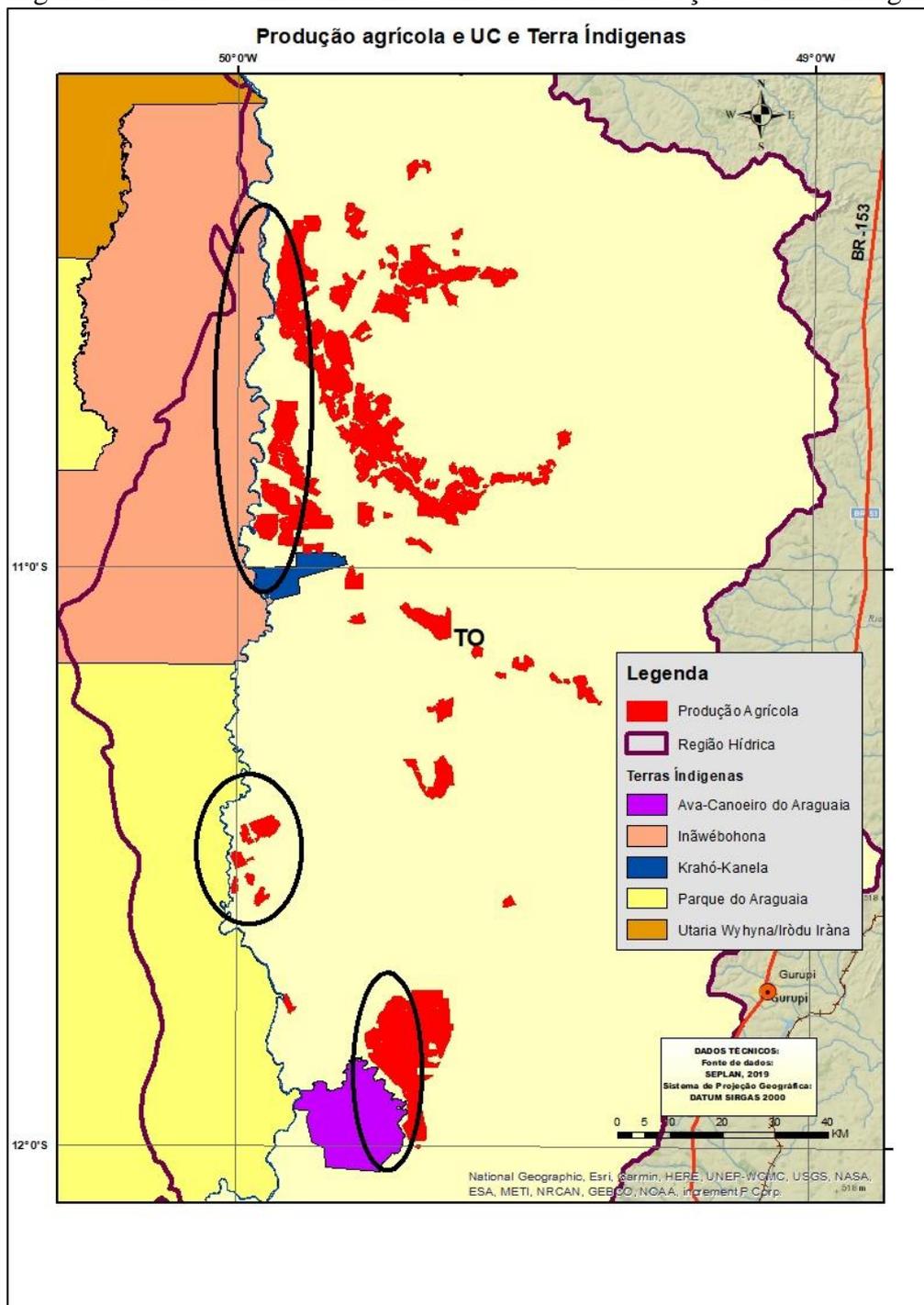
Nas áreas planas da planície predominam rochas sedimentares e materiais inconsolidados de depósitos aluvionares, que formam os solos plínticos e gleissolos. As estruturas destes solos são bastante dependentes da sazonalidade e dinâmica do lençol freático, e apresentam risco a processo erosivos por conta do encharcamentos e secagens sucessivas das suas paredes, principalmente na base, induzindo a desestabilização das partes superiores. Os diques que condicionam o fluxo de água para irrigação potencializam estes processos, aumentando a suscetibilidade dos solos à processos erosivos.

Nos terrenos mais altos, onde predominam as areias quartzosas e os latossolos com texturas arenosa e média argilosa em relevo localmente ondulado, há aptidão para pastagem natural, sendo menos propício para a agropecuária. Porém, por meio de correções químicas dos solos e de estruturas de irrigação, foi possível o desenvolvimento de culturas como a soja. Segundo a SEAGRO-TO, as terras agricultáveis na área de estudo, em sua maioria, se enquadram no conceito da classe de terras de uso especial, ou seja, são aptas para uso específico sob irrigação e controle de processos erosivos.

Uma suscetibilidade alta na região se refere aos terrenos sobre formações cársticas, que podem apresentar processos de subsidência e dissolução bastante dinâmicos e intensos, que são a base da formação das Ipucas (PEREIRA, 2016). Periodicamente inundados pelas cheias dos rios da região, esses ambientes cársticos ficam mais fragilizados e passíveis de sofrer subsidência, que é o rebaixamento da superfície do terreno devido às alterações ocorridas no suporte subterrâneo. O uso de maquinário pesado próximo as Ipucas potencializam as subsidências, em campo foram coletados relatos de que “buracos” aparecem do dia pra noite, muitas vezes levando até maquinário agrícola.

Outra questão importante é o avanço das áreas de produção agrícolas em direção das unidades de conservação e terras indígenas, na figura 26, é possível verificar, a proximidade dessas áreas a menos de 10 km, que seria o estabelecido pela área de área de influência.

Figura 26– Áreas de influência nas Unidades de conservação e Terras Indígenas



Fonte: SEPLAN (2020), CONAB (2018). Elaborada pelo próprio autor (2020)

Segundo o Plano de Manejo do Parque Nacional do Araguaia (2001), as atividades conflitantes, como a criação de gado no interior da Ilha do Bananal, sempre existiram, sendo comum entre os povos indígenas que arrendam as terras para serem utilizadas como pastos. Rodrigues (2008) confirma a existência dessas atividades, afirmando que pecuária começou a ser estimulada na região a partir de 1930 e foi apropriada pela FUNAI na década de 1970, que cobrava pela entrada dos rebanhos na ilha. A atividade é praticada

até os dias atuais por lideranças indígenas, que arrendam terras para serem utilizadas como pasto.

A atividade pastoril não é tradicional dos indígenas Javaé e Karajá, gerando posições contrárias entre os indígenas quanto a essa prática em seus territórios, pois possuem um efeito negativo sobre o ambiente que são as queimadas realizadas para a renovação das pastagens, e que sistematicamente atingem a ilha de forma incontrolável. Muitos veem a atividade como uma saída para obter renda e alegam que há uma ineficiência do Estado quanto à realização de projetos alternativos para geração de renda que possam continuidade, normalmente tais propostas são pontuais (BISPO, 2016)

Segundo o Plano de Manejo do Parque Nacional do Araguaia (PARNA), o litígio entre os pecuaristas (posseiros) e os órgãos que lidam com a questão ambiental vem se arrastando desde 1988, quando a justiça determinou a retirada do gado das áreas do PARNA, porém, alguns fazendeiros e vaqueiros alegam estar esperando por indenizações ou outros benefícios. Ainda permanecem 400 cabeças de gado dentro do parque e nas épocas de seca, pecuaristas da região entram com o gado, chegando até mais de 15 mil cabeças para pastoreiro.

Como visto, a região em estudo apresenta sensibilidades ambientais e culturais importantes quando se considera o uso do território. A utilização de terras com a agricultura intensiva e a pecuária e as conseqüentes queimadas e desmatamento, potencializam, ou mesmo resultam em processos erosivos/sedimentares e hidrológicos que impactam diretamente na disponibilidade de água para a irrigação, para a dessedentação animal e para a manutenção da biodiversidade e sistemas naturais.

Considerando estas características naturais locais e a prática agropecuária, a vulnerabilidade ambiental se torna algo de elevada importância na região. Os cenários futuros e seu uso agrícola devem levar em consideração estas suscetibilidades e a manutenção dos recursos naturais no sistema, principalmente água e solos, essenciais para a própria atividade agrícola. A região hoje é um dos mais importantes polos do agronegócio do Estado, e seu futuro depende do uso adequado e racional dos recursos naturais da área.

Essa situação de conflitos pelo uso da água na irrigação, que já ocorre na região, tende a se agravar quando se analisam cenários futuros, em função da ampla existência de terras para expansão da agricultura irrigada. No entanto, a falta de recursos hídricos em quantidade adequada nos períodos de estiagem, certamente impedirá o desenvolvimento de determinadas culturas.

Os impactos observados em campo foram os seguintes: a) construção de barramentos sobre os cursos d'água; b) remoção mecanizada da cobertura vegetal; c) remoção de ipucas; d) aplicação de agrotóxicos; e) queima e requeima de material enleirado e para limpeza do terreno; f) construção de vias de acesso; g) bombeamento de água para irrigação; h) construção de infraestrutura necessária para irrigação; i) mecanização do terreno; e j) alagamento natural e contínuo por meio da irrigação.

## **CAPÍTULO 4. MUDANÇA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E MODELOS DE SIMULAÇÃO NA DINÂMICA DA PAISAGEM**

O seguinte capítulo abordará os conceitos de uso e ocupação da terra, usos da água na agricultura e os modelos de simulação dinâmica e suas características.

### **4.1 Mudanças de uso e cobertura da terra**

Para Briassoulis (2000), ao analisar as mudanças de uso e cobertura da terra é necessário entender em qual escala espacial será realizada a análise, uma vez que, mudança de cobertura significa alterações quantitativas do atributo físico que cobre determinada área, quanto maior for o detalhamento na escala espacial, maior serão as mudanças observáveis na cobertura e uso da terra.

De acordo com Turner (2002), nas últimas quatro décadas a interesse sobre a temática das mudanças de uso e cobertura da terra ganharam mais destaque em função das significativas mudanças ambientais globais, pelas perdas florestais, o que de uma forma ou de outra relaciona esse tema com as mudanças climáticas, com a perda da biodiversidade, com a sustentabilidade da agricultura e com o fornecimento de água potável segura.

Outros autores como Lambin et al. (2003) complementam afirmando que os processos de alterações no uso e ocupação da terra influenciam nas mudanças climáticas, e surgem como uma urgente preocupação sobre os estudos das dinâmicas de uso e cobertura da terra. Para os mesmos autores, em meados da década de 1970 foi reconhecido que a mudança da cobertura da terra modifica o albedo da superfície e, portanto, as trocas de energia têm impacto no clima regional.

Ao longo dos anos de 1980, foram conduzidas pesquisas sobre as mudanças no uso e cobertura da terra, porém essas pesquisas não consideravam as interrelações dentro de um sistema ambiental, de modo que as investigações não eram integradas. Essa lacuna levou a criação do projeto *Land-use and Land-cover Change* (Mudança de cobertura e uso da terra, em português) (LUCC), pela *International Human Dimensions Programme* (Programa Internacional das Dimensões Humanas das Mudanças Ambientais Globais, em português) (IHDP) em 1994 (CÔRTEZ E D'ANTONA, 2014). A finalidade do projeto era responder como as ações antrópicas e biofísicas comprometem o uso e a cobertura da terra e quais os impactos ambientais e sociais dessas alterações a partir de análises

comparativas, observações empíricas e formulações de modelos integrados regionais e globais (SHERBININ, 2002).

Eric Lambin e Helmut Geist organizaram o livro *Land-use and land-cover change: local process and global impact* que foi lançado em 2006, sendo um produto final do projeto LUCC – encerrado em 2005. O projeto estabeleceu uma rede de pesquisadores no mundo todo, que possibilitou a criação de metodologias para quantificação dessas mudanças, fortalecendo o caráter interdisciplinar da temática das mudanças globais sobre o sistema terrestre, além de compreender e fornecer respostas sobre as alterações ambientais em curso no planeta.

Para a compreensão das mudanças de uso e ocupação ocorridas em uma determinada área, Lambin e Geist (2003) definem dois tipos de causas – imediatas e subjacentes. Sendo que o tipo imediato corresponde as ações onde a comunidade local interfere nas mudanças de uso da terra e na sua expansão, como aumento dos assentamentos e o desmatamento. As causas adjacentes dependem das condições econômicas, crescimento demográfico, políticas públicas e instituições.

Essa dinâmica do desenvolvimento regional em função das transformações de uso e ocupação da terra, apresentam a princípio algumas vantagens, como apresentado por Julien e Lachange (2001), a existência de recursos naturais abundantes, benefícios tributários e investimentos governamentais, a redução da incerteza econômica para investidores, que são garantidos por um período de tempo. Essas vantagens atraem os maiores investidores, porém, a medida que os recursos naturais se tornam indisponíveis, ocorre o influxo massivo de investimentos estrangeiros na região. Investidores são atraídos pelas vantagens e pelo baixo nível de riscos, e seus investimentos geram maiores rendimentos, que têm impacto na região com um todo.

A sustentabilidade dos recursos naturais é essencial para que o desenvolvimento regional de fato ocorra, a compreensão das mudanças de uso e ocupação é fundamental para o entendimento das dinâmicas do desenvolvimento regional.

No Brasil, uma iniciativa multi-institucional envolvendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia, criaram o Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra, conhecido como MapBiomass, que utiliza o processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de uso e cobertura da terra do Brasil. O projeto contribui para o entendimento das transformações do território brasileiro a partir do mapeamento anual da cobertura e uso da terra no país, gerando

mapas anuais de cobertura e uso da terra para cada ano entre 1985 e 2020 com resolução de 30 metros em todo território brasileiro.

Lambin et al. (2003) afirma que uma das principais preocupações eram os impactos na diversidade biótica em todo o mundo, a degradação do solo, a capacidade dos sistemas biológicos para sustentar as necessidades humanas, a vulnerabilidade de lugares e de pessoas a perturbações climáticas, econômicas ou sociopolíticas. Resumidamente, a ideia é de que, quando reunidos integralmente, as alterações nas formas de uso e ocupação da terra afetam significativamente aspectos centrais do funcionamento do sistema terrestre.

Turner et al. (1995) estabelece os fatores responsáveis pela mudança que podem ser divididos em quatro grupos: (1) fatores que afetam a demanda pela terra, como, por exemplo, aumento da população e de seu poder aquisitivo; (2) fatores que controlam a intensidade de exploração da terra: através da tecnologia; (3) fatores relacionados ao acesso e ao controle dos recursos naturais: políticas econômicas; (4) fatores que criam os incentivos motivadores das decisões individuais: estrutura política, atitudes e valores.

Identificar as causas das mudanças de uso da terra requer entender como esses diferentes fatores interagem dentro de um determinado contexto ambiental, social e histórico, de maneira a conduzir a diferentes usos (Turner et al., 1995). Porém as decorrências socioeconômicas dessa mudança não são tão evidentes quanto as ambientais. Elas estão sujeitas a fatores mais complexos, menos visíveis e menos verificáveis que as primeiras.

Os fatores ambientais e socioeconômicos estão intimamente ligados, numa complexa relação de causa-efeito. Podemos exemplificar isso quando analisamos as raízes de problemas socioeconômicos, como segurança alimentar e escassez no suprimento de água, podendo surgir em decorrência da diminuição de terra agricultável e disponibilidade de água de uma região sob processo de erosão, desertificação, industrialização, urbanização e, acima de tudo, manejo inadequado de recursos naturais. Em todas essas circunstâncias, o mal uso da terra tem um importante papel (Briassoulis, 2000).

#### **4.1.1 Mudanças de uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas**

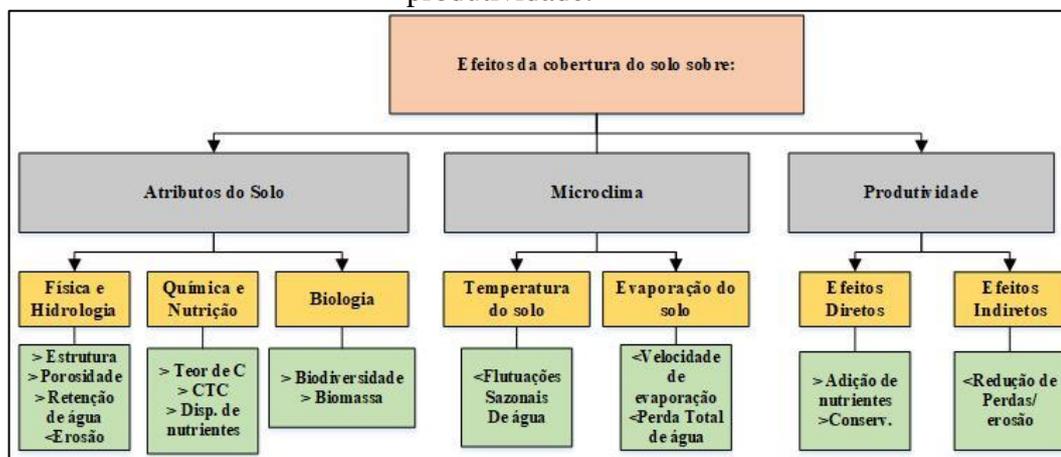
Estudos sobre a dinâmica da ocupação da terra são relatados na literatura internacional como Land Use Cover Change – LUCC. Esse tipo de estudo prevê o levantamento da cobertura vegetal e do uso da terra, sendo indispensável para o

planejamento regional e ambiental e gestão de bacias hidrográficas, por fornecer subsídios ao (re)ordenamento de uso para desenvolvimento urbano e rural. Porém, as técnicas convencionais desse levantamento caracterizam-se pelo alto custo e pela dificuldade de obter dados em prazo curto.

O estudo do uso e cobertura da terra consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou pela caracterização dos tipos e categorias de vegetação natural que reveste o solo. A cobertura vegetal do solo exerce benefícios sobre os atributos e processos atuantes em um solo que podem, por vezes influenciar no crescimento e na produtividade das culturas (Figura 27).

Em termos físicos, estes efeitos positivos se expressam, notadamente sobre a sua estrutura e agregação e, em consequência, sobre a porosidade total e a microporosidade. Em termos químicos e nutricional, a cobertura concorre para a adição de nutrientes, aumentando o teor de matéria orgânica e a capacidade de troca de cátions do solo (GOMES 2002).

Figura 27- Efeitos da cobertura dos solos sobre seus atributos, microclima e produtividade.



Fonte: Adaptado de Lal (1993)

Para Nunes (2006), o conhecimento da ocupação da terra e das respectivas tendências de evolução deverá se constituir em mais um dos elementos a ponderar sobre as estratégias de resposta e de adaptação, com vista à eficaz gestão de uma bacia hidrográfica. Em um cenário que se anunciam alterações importantes na distribuição e na quantidade da precipitação, o conhecimento das tendências de evolução é instrumento valioso.

Tucci e Clarke (1998) identificaram grandes variações de vazão em várias sub-bacias do rio Prata, devido a dois componentes básicos: modificações antrópicas e

variabilidade climática, influenciando diretamente nos componentes físicos e químicos dos solos dessas bacias.

Dalmas (2013) analisou o uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape e suas bacias adjacentes, localizado no sul do Estado de São Paulo, comparando áreas de relevo serrano e várzeas encaixadas, regiões sensíveis no aspecto geomorfológico e na biodiversidade. O autor utilizou das técnicas de geoprocessamento e modelagem para o mapeamento da vulnerabilidade aos processos erosivos causados pelo uso e ocupação atual e um possível cenário futuro considerando as mudanças climáticas, assim foi quantificada as áreas e mapeadas as zonas de risco de toda a Bacia e a tendência de expansão da produção agrícola e do crescimento urbano.

O estudo realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim na região nordeste do estado do Pará, com um modelo de ocupação baseado na exploração dos recursos naturais, identificou as causas do desmatamento em função da dinâmica do uso e ocupação da terra. A conversão de áreas florestadas pela agropecuária apresentou impactos significativos sobre os recursos hídricos e a tendência do agravamento pelas áreas abandonadas, ocasionando um processo de regeneração e formação da vegetação secundária como a capoeira, que após algum tempo volta a ser incorporada ao sistema produtivo, com base na técnica de retirada da vegetação e posterior queima para a limpeza da área (SANTOS, 2020).

Desta e Feteneb (2020), avaliaram o uso e a ocupação da terra nas áreas de várzea da Bacia do Lago Ziway, localizado na região do Vale Central do Rift na Etiópia, utilizando séries temporais de imagens de satélite Landsat dos últimos 45 anos (períodos de tempo definidos 1973-1989-2018). Os autores demonstraram que a região sofreu uma expansão das áreas agrícolas e assentamentos urbanos que aumentaram, respectivamente, em 45% e 141,4%, reduzindo as áreas florestais com o desmatamento para abertura de novas áreas de cultivo e pelo uso do carvão para lenha doméstica, que representa 80% de fonte de energia para famílias da zona rural.

A topografia plana nas terras de várzeas favoreceu a ocupação pela agricultura, expandindo a cultura às áreas das encostas de rios, a formação de profundas e largas ravinas em várias localidades da bacia são sinais do agravamento da degradação do solo devido as mudanças no uso e ocupação da bacia.

Desta (2020), ao analisar as mudanças de uso ocorridas na bacia hidrográfica do Lago Ziway no Vale do Rift da Etiópia afirma que a intensiva captação de água, principalmente para a irrigação das plantações de flores, bem como o uso de agroquímicos tem levado a degradação na qualidade da água e conseqüentemente atingindo a atividade pesqueira. O autor constata que a bacia terá perdas irreversíveis dos recursos naturais se não houver políticas públicas que atuem na preservação dos recursos naturais, e na promoção da conscientização e de treinamento técnico sobre intervenções de conservação do solo e floresta.

Assim, as modificações de uso e cobertura da terra resultam em alterações nos regimes hídricos e na instabilidade dos solos que, por sua vez, impacta o uso produtivo da terra, como a agropecuária. Para mitigar tais impactos, é essencial utilizar a bacia hidrográfica como uma unidade de gestão territorial essencial, por se tratar de um sistema físico facilmente identificado e individualizado (RODRIGUES & ADAMI, 2011).

#### *4.1.1.1 Mudanças no uso da terra no ciclo da água*

Para Christofolletti (1981) os diferentes usos de solo em bacias hidrográficas interferem no ciclo hidrológico, não importando o grau do tipo de uso. Para o mesmo autor as atividades antrópicas podem influenciar no escoamento superficial da água e conseqüentemente no regime fluvial e no transporte de sedimentos.

Neste mesmo sentido Dunn & Mackey (1995), afirmam que uso e ocupação da terra devem ser compreendidos para que possa ser avaliado os efeitos das alterações ocorridas no ciclo hidrológico de uma determinada região, considerando a influência na hidrologia dos solos.

Embora as propriedades físicas do solo sejam importantes e exerçam uma forte influência na natureza das respostas hidrológicas, as alterações da superfície de uma bacia influenciam o balanço hídrico através dos processos de transpiração, interceptação e evaporação desempenhados pelas plantas na superfície terrestre (MAO e CHERKAUER, 2009). Por exemplo, a vegetação protege o solo do impacto direto da gota da chuva e dispersa a água que atinge a superfície, influenciando em todo o processo.

Estudos realizados por Rocha & Kurts (2001) mostraram que as coberturas vegetais retêm grande parcela inicial da precipitação, quanto maior a superfície foliar, maior a área de retenção da água durante a precipitação. Os autores analisaram solos florestados, onde a taxa de infiltração variou de 15 a 25 vezes maior que em áreas agrícolas, a infiltração média foi de 150 mm/hora, enquanto em lavouras mecanizadas ou pastagem, 6 mm/hora.

Bachmair et al. (2009) sugerem que técnicas de manejo adequadas a solos agrícolas ou de pastagem podem aumentar a entrada de água com a formação de macroporos que auxiliam o fluxo preferencial, sendo eficiente no controle de produção de escoamento.

Estudos em áreas de florestas no norte e centro de Taiwan demonstram que, para eventos de precipitação intensa, o volume de água retido por interceptação varia de 5 a 20% do total de chuva por evento. Para eventos leves de precipitação, a interceptação chega a atingir 50% ou mais do total de mm de chuva (CHENG et al., 2002).

A contribuição da interceptação para a resposta hidrológica se traduz em capacidade de redução da variação de vazão ao longo do ano, retardando e reduzindo o pico das cheias (TUCCI e CLARKE, 1997). Em escala de bacias hidrográficas, as alterações nos tipos de uso e cobertura modificam a resposta da vazão dos canais de drenagem de acordo com o volume de água infiltrado e escoado superficialmente.

Hibbert (1967) avaliou estudos em 39 bacias experimentais pelo mundo, relacionando os efeitos das alterações das florestas com os rendimentos hídricos, onde constatou-se que as alterações nos regimes de vazões são influenciadas diretamente pelas mudanças de uso e ocupação da bacia.

Silva Filho et. al (2021) ao avaliarem a influência de diferentes usos e ocupação do solo, associada à declividade e ao escoamento superficial, sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Benfica-PA, afirmam que na predominância de relevo plano, com ausência ou baixa concentração de vertentes íngremes e longas, ocorrem concentrações pontuais do fluxo do escoamento superficial, favorecendo a infiltração, e evitando assim, a descarga de sedimentos sobre o curso d'água, originado pelos processos erosivos. Os autores ainda destacam a relevância da preservação das áreas vegetadas para o equilíbrio ambiental de uma bacia hidrográfica, como a regulação microclimática, através da elevação da umidade do ar e áreas sombreadas, melhoramento da qualidade do ar (captação de gás carbônico e produção de oxigênio), conservação do solo e manutenção do regime hidrológico, através da proteção dos recursos hídricos (APP).

Para Decian (2016), ao estudar a bacia do rio Cravo, na região norte do Rio Grande do Sul, constatou que o predomínio da vegetação florestal em área de declividade acentuada ameniza tanta a produção de sedimentos quanto a entrada deles na bacia hidrográfica, tornando assim uma barreira natural contra os processos erosivos.

A substituição da vegetação florestal em uma bacia hidrográfica altera seu balanço hídrico (precipitação e evaporação) resultando em modificações de sua resposta hidrológica. Para Tucci e Clark (1997) o aumento do escoamento é ainda maior se o desmatamento for realizado com tratores e no uso posterior do solo for utilizada mecanização, pois aumenta a compactação da camada superficial do solo e diminui a infiltração da água.

Em geral, a substituição de florestas por pastagem ou culturas leva a um aumento na produtividade da água e no volume de fluxo rápido, e nos picos de vazões em épocas de maiores precipitações, afetando assim a resposta hidrológica em termos de produtividade da água por causa das alterações na taxa de evaporação associada aos diferentes tipos de vegetação (ANDRÉASSIAN, 2004; BRUIJNZEEL, 2004).

O Quadro 1 apresenta as principais classificações sobre a mudança e uso da terra em bacias hidrográficas.

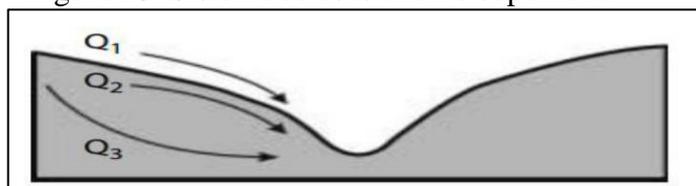
Quadro 1- Classificação das mudanças de uso da terra sobre o escoamento

| Classificação         | Tipo  | Principais impactos sobre escoamento  |
|-----------------------|---|---|
| Mudança da superfície | Desmatamento                                | Aumento da vazão média, aumento ou diminuição da vazão mínima.  |
|                       | Reflorestamento                             | Redução do escoamento médio, capacidade erosiva.  |
| O uso de superfície   | Urbanização                                 | Redução da infiltração no solo, aumentando o escoamento superficial, redução da evapotranspiração. Aumento das vazões máximas.                              |
|                       | Reflorestamento para exploração sistemática | Redução do escoamento médio, impacto da construção de estradas, capacidade erosiva gerada pela superfície desprotegida após extração.                       |
|                       | Agricultura familiar e permanentes          | Intensidade pequena ou intermediária.   |
|                       | Culturas Anuais                             | Intensidade alta, pois prevê a preparação do solo (aração) antes do período chuvoso. O plantio sem nenhum cuidado tende a aumentar a erosão e o escoamento. |
| Método de alteração   | Manual                                      | Menor impacto, porém dispendioso.   |
|                       | Equipamentos                                | Compactação do solo, reduzindo a infiltração de água no solo.   |

Fonte: Tucci (2005)

Segundo Zhang (2002), o escoamento de uma bacia hidrográfica é composto por três componentes (Figura 28): o escoamento superficial ( $Q_1$ ) que corresponde a água que percorre a superfície do solo em direção ao canal do rio, o escoamento subsuperficial ( $Q_2$ ) que representa a porção da precipitação infiltrada que se move lateralmente através das camadas superiores do solo até atingir o canal do rio e o escoamento de base ( $Q_3$ ) que é a porção da precipitação infiltrada que atinge o lençol freático e, em seguida, descarrega nos rios

Figura 28- Sistema de escoamento superficial

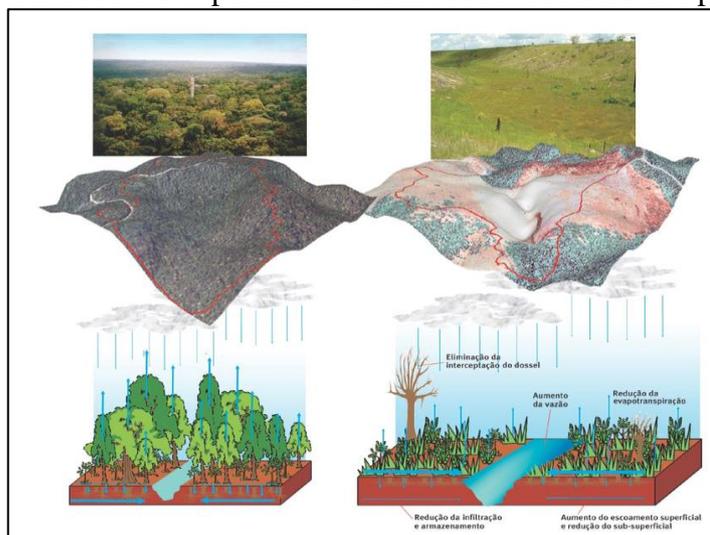


Fonte: Zhang (2002)

O papel hidrológico da bacia hidrográfica pode ser resumido em transformar uma entrada de volume concentrada (precipitação) em uma saída de água escoada pelo exutório de forma distribuída no tempo (TUCCI, 2001). Nesse processo, a cobertura vegetal e o uso da terra têm contribuição direta no balanço hídrico e conseqüentemente na vazão, exercendo um importante papel na distribuição da água que chega à bacia hidrográfica.

Assim, a substituição da vegetação florestal altera o balanço hídrico (Figura 29), causando aumento da vazão em cursos d'água locais, a redução da evapotranspiração e o aumento do escoamento superficial (TRANCOSO et. al, 2007)

Figura 29- Microbacias experimentais com cobertura florestal e pastagem



Fonte: Trancoso et al. (2007)

## 4.2 Produção Agrícola nas regiões de várzeas

As regiões de várzeas no Brasil são formadas predominantemente por solos hidromórficos, das ordens Gleissolo e Argissolo, com horizonte de subsuperfície raso ou elevação temporária do lençol freático (Stone, 2005).

Regiões com tais características de solos, e definidas como planícies tropicais de sedimentação, somam cerca de 15 milhões de hectares no norte e nordeste brasileiro, e podem ser utilizadas para a cultura do arroz, que mais se adapta a essas condições. O clima dessas regiões é diferente das áreas tradicionais de cultivo do arroz no sul do Brasil ou mesmo na Ásia, necessitando de mais estudos sobre o desempenho das safras e práticas agrônômicas adequadas para as condições locais (REIS, 2017).

A expansão da produção agrícola em regiões de várzeas depende da boa gestão dos recursos hídricos. Para Bouman et al. (2007), em regiões de cultivo tradicionais, o manejo da irrigação com inundações contínuas é amplamente disseminado e recomendado, porém, com a real ameaça de escassez de água é necessário o desenvolvimento de alternativas nos sistemas de irrigação, uma vez que nenhum dos sistemas existentes é adequado para as várzeas tropicais, principalmente por causa das especificidades do solo.

Para Gomes et. al (2002), embora os solos de várzeas sejam de manejo simples do ponto de vista topográfico para mecanização e irrigação, eles apresentam peculiaridades relacionadas ao seu estado, fragilidade a erosão e deficiência de matéria orgânica. Assim, o manejo é complexo quando se pretende utilizar com outras espécies produtoras de grãos, em rotação com o arroz irrigado.

Segundo os mesmos autores, o sucesso da rotação de culturas em solos de várzea dependerá, além da identificação e do desenvolvimento de genótipos de plantas mais tolerantes ao excesso de água no solo (de médio a longo prazo), da adoção de práticas de manejo que possibilitem minimizar as limitações decorrentes da qualidade inadequada destes solos (curto prazo), reflexo de suas condições físicas, químicas e biológicas, normalmente desfavoráveis às espécies mesófitas.

A rotação de culturas em várzeas tem sido uma prática comum, como o plantio da soja e sorgo. Porém, os métodos de cultivo tradicionais com intensa mecanização para preparo do solo e insumos de controle de pragas tornam o processo dispendioso, além de acarretar a degradação dos solos.

Na área de estudo, as práticas agrícolas mais comuns têm sido rotação de cultura de soja pelo arroz, irrigação por sistema de subirrigação e inundação, construção de barragens para abastecimento dos canais, uso de insumos como, defensivos, adubos e maquinários.

### **4.3 Principais demandas de uso da água nas bacias hidrográficas em regiões rurais**

Segundo a estudos realizados pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (2013), o uso da água para a agricultura corresponde por 70% em todo o mundo para fins agrícolas. Os países em desenvolvimento esse uso chega até 95% da água utilizada para irrigação. Dados da Embrapa revelam que no Brasil a irrigação é a que mais consome, chegando a cerca de 70%, os outros 11% para dessedentação animal e apenas 1% para abastecer as áreas rurais.

De acordo com a ANA (2017), o consumo de água diário para o consumo de rebanhos varia em função da espécie animal, além do tamanho e estágio de desenvolvimento fisiológico, bem como pelas condições ambientais e de manejo. Porém, cerca de 123 m<sup>3</sup>/s é a média consumida por bovinos, sendo necessários 2.500 litros de água para produzir um quilo de carne bovina.

Dessa forma a água se torna essencial para a produção e segurança alimentar no mundo. A estratégia de desenvolvimento da agricultura na maioria desses países depende da possibilidade de manutenção, melhoria e expansão da área irrigada.

No entanto, à medida que aumenta a pressão sobre os recursos hídricos, a irrigação enfrenta uma forte competição de outros setores de uso da água.

A agricultura irrigada é um uso consuntivo da água, ou seja, altera suas condições na medida em que é retirada do ambiente, e a maior parte é consumida pela evapotranspiração das plantas e do solo, não retornando diretamente aos corpos hídricos. Embora o ciclo hidrológico seja fechado, esse consumo significa que a água é indisponibilizada para outras aplicações naquela localidade no curto espaço de tempo (ANA, 2017).

Os líderes mundiais em áreas irrigadas são a China e a Índia, com cerca de 70 milhões de hectares (Mha) cada, seguidos dos EUA (26,7 Mha), do Paquistão (20,0 Mha) e do Irã (8,7 Mha). O Brasil aparece no grupo de países que possui área entre 4 e 7 Mha, que inclui Tailândia, México, Indonésia, Turquia, Bangladesh, Vietnã, Uzbequistão, Itália e Espanha. (FAO, 2013)

Entretanto, a irrigação no Brasil é considerada pequena frente ao potencial estimado, à área agrícola total, à extensão territorial e ao conjunto de fatores físico - climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica. Esse panorama é o oposto do verificado nos demais países líderes em irrigação, já que, de forma geral, estão mais próximos do aproveitamento total do seu potencial estimado (ANA, 2017).

Considerando os demais usos consuntivos<sup>4</sup> levantados pela ANA, esses valores correspondem à 46% da retirada (2.105 m<sup>3</sup>/s) e 67% da vazão de consumo (1.110 m<sup>3</sup>/s). Essa participação é semelhante à observada nos EUA, onde 59% da vazão de retirada é para irrigação (Maupin et al., 2014) e à média global de cerca de 70% do consumo.

Testezlaf (2017) afirma que a eficiência do uso da água na agricultura está correlacionada ao sistema adotado, porém no Brasil, está mais influenciado pelas práticas locais de operação dos equipamentos e de manejo da água e do solo.

Fatores como, equipamentos com baixa qualidade, má ancoragem de bombas e tubulações, conforme ilustrado na Figura 30, entupimentos de tubulações por sujeira, instalações que não seguem as indicações de projeto concebido são as falhas mais comuns encontradas nas áreas de agricultura irrigada.

Figura 30- Instalações de bombas e tubulações no Rio Formoso



Fonte: Acervo próprio.

Os métodos de irrigação podem apresentar diferentes níveis de eficiência, a depender da uniformidade de distribuição das lâminas que cada método de irrigação pode

---

<sup>4</sup> Os **usos consuntivos** são aqueles que retiram **água** do manancial para sua destinação, como a irrigação, a utilização na indústria e o abastecimento humano. Já os **usos não consuntivos** não envolvem o consumo direto da **água** - o lazer, a pesca e a navegação, são alguns exemplos, pois aproveitam o curso da **água** sem consumi-la.

gerar, da condição de localização de aplicação das lâminas de irrigação, das características dos emissores, da interferência das condições climáticas em cada método de irrigação, perdas por interceptação entre outras (MMA, 2006).

Segundo estudos do Ministério do Meio Ambiente – MMA (2006), para a correta estimativa da quantidade de água necessária para irrigação em uma bacia hidrográfica é necessária a determinação da área irrigada, da quantidade de água disponível naturalmente por meio da precipitação, da quantidade de água perdida por meio da evapotranspiração, das perdas envolvidas nos sistemas de irrigação e das práticas agrícolas da região. A área irrigada de uma bacia hidrográfica varia em função da aptidão agrícola da região, dos incentivos e subsídios ao setor agrícola e do mercado de produção de alimentos, entre outros fatores. Os dados de precipitação são convencionalmente coletados em postos pluviométricos que medem a quantidade total de água precipitada em um dia, de forma pontual. Da mesma forma, a evapotranspiração é geralmente determinada a partir de parâmetros físicos e climáticos medidos em estações climatológicas, de forma pontual.

Para a quantificação do volume de água precipitado ou evapotranspirado em uma determinada área, é necessário que os dados pontuais sejam espacializados de modo a se estimar valores médios válidos para toda a área em análise. Saliente-se o papel das técnicas de geoprocessamento nestes processos de espacialização de dados (MMA, 2006).

A demanda hídrica para irrigação pode ser estimada pela diferença entre a necessidade das culturas, representada pela altura de evapotranspiração real da cultura, e o suprimento natural de água, representado pela altura de precipitação efetiva. O produto dessa demanda hídrica por uma determinada área irrigada fornece a vazão correspondente à demanda hídrica para irrigação.

A Embrapa analisou as necessidades hídricas das culturas do milho, soja e sorgo nas regiões de Várzeas no Rio Grande do Sul, no período de dezembro a fevereiro, quando a precipitação é inferior a demanda evaporativa da atmosfera. O milho é uma espécie de grande eficiência no uso da água para a produção total de matéria seca, consumindo de 500 a 800 mm de água, em um período médio de cultivo, apresentando evapotranspiração maior que 544 mm e sendo mais tolerante ao déficit de água durante o período vegetativo e de maturação. O sorgo é relativamente mais resistente à seca do que outras espécies cultivadas, evapotranspiração máxima em um cultivo de sorgo de 110 dias de ciclo está em torno de 450 mm. A soja é a que apresenta maiores valores de evapotranspiração máxima total no ciclo, atingindo 827 mm.

A demanda hídrica de determinada cultura é definida pelos índices de evapotranspiração e o coeficiente de cultura, relação entre evapotranspiração real e potencial. Essas variáveis estabelecem o momento e a quantidade de água para a planta, sendo influenciadas pelas condições climáticas do local, como a intensidade da radiação solar e temperatura (TEIXEIRA, 2004).

Para Nobre (2010), as alterações na distribuição das chuvas, é um impacto das mudanças climáticas, embora não ocorram variações marcantes em termos totais anuais de chuva, têm-se notado alterações significativas na distribuição da precipitação, com menor número de eventos e maior ocorrência de chuvas intensas. Essas alterações devem ser consideradas no processo da produção agrícola e vislumbradas para os cenários futuros.

Segundo Almeida (2005), temperaturas elevadas e deficiência hídrica, tendem a acelerar o desenvolvimento da planta em todas as fases e períodos chuvosos e temperaturas amenas tendem a manter a planta em estado vegetativo mesmo em fase de maturação completa. Considerando o ciclo vegetativo médio das cultivares (soja, milho e arroz) e o consumo de água por evapotranspiração, uma lavoura pode apresentar uma demanda média de 700 mm durante a fase de crescimento, o que pode variar conforme a demanda evaporativa da atmosfera. O autor também afirma que a temperatura associada a outros fatores também pode induzir alterações no desenvolvimento da cultura, bem como estabelecer condições para a incidência de insetos pragas ou de doenças provocadas por microorganismos (bactérias, fungos).

De forma isolada, quando próxima à temperatura base da cultura (15°C) pode retardar o desenvolvimento, e causar o oposto quando mais elevadas. Acima de 30°C provoca estresse por excesso de transpiração, e temperaturas elevadas no período noturno provocam dispêndio de energia no processo de respiração.

Para um manejo adequado e maior eficiência da irrigação é importante o conhecimento das necessidades hídricas das espécies cultivadas, bem como o efeito da falta d'água. Este déficit faz com que as necessidades hídricas das culturas não sejam supridas ao ponto de viabilizar a obtenção de produtividades economicamente viáveis.

Assim, faz-se necessário, embora não em todas as safras, a utilização da irrigação suplementar para que estas culturas possam expressar todo seu potencial produtivo. A irrigação pode ser realizada por sulcos, procedimento que se adapta bem a muitos solos de várzea.

O instrumento de gestão de uso da água no controle da irrigação é a outorga que procura garantir que a quantidade de água requerida pelo irrigante seja compatível com a disponibilidade hídrica existente e com os demais usos atuais e futuros, tanto em escala local quanto de bacia hidrográfica. Porém, a implantação desse instrumento exige o fomento dos órgãos fiscalizadores e conscientização dos produtores.

Boumam (2007) recomenda que para atender à demanda alimentar da população mundial nas próximas décadas é necessário produzir grãos com baixo custo e num cenário de escassez de água, o que ameaça a sustentabilidade e a capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos dos sistemas de produção atuais. Para tanto é necessário que à adoção de tecnologias de irrigação, reaproveitamento da água de drenagem e percolação.

No entanto, é necessária uma maior compreensão dos efeitos adversos das condições de campo. Em ambientes propensos a secas, salinidade e inundações, a combinação de variedades melhoradas com pacotes de manejo específicos tem o potencial de aumentar os rendimentos nas fazendas em 50-100% nos próximos 10 anos, desde que o investimento em pesquisa e extensão seja intensificado (BOUMAM, 2007).

Considerando os impactos ambientais da AEG-01, principalmente a degradação dos solos e processos erosivos pelo intensivo uso agrícola, bem como a retirada da cobertura florestal, é necessário compreender o processo de uso da água pela agricultura e a pecuária, e buscar meios mais eficientes de irrigação para a manutenção da produção agrícola e mitigação dos impactos ambientais.

Dessa forma, a compreensão dos níveis de fragilidade de uma bacia hidrográfica por meio da relação das variáveis que interferem nas potencialidades dos recursos naturais possibilita uma visão mais ampla sobre quais são as escolhas mais adequadas para o uso da terra.

#### **4.4 Fragilidade Ambiental**

A análise da fragilidade do ambiente é uma proposta de investigação cujo princípio básico é definir os diferentes níveis de fragilidade dos ambientes naturais, modificados ou não pelas atividades antropogênicas, em face o desenvolvimento das atividades humanas e sua avaliação devem ser realizadas para o planejamento territorial e ambiental (TRICART, 1977; ROSS, 1994).

Assim, o mapeamento da fragilidade ambiental de uma determinada área é uma importante ferramenta de diagnóstico, fornecendo informações mais próximas do cenário

ambiental real e auxiliando na tomada de decisões para a implantação de políticas públicas.

Estudos integrados de um determinado território pressupõem o entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem as intervenções humanas, o reconhecimento das potencialidades e fragilidades inerentes aos espaços geográficos, e orientam nas ações de intervenções desses espaços em favor da sustentabilidade e da responsabilidade ambiental (ROSS, 2001).

Dessa forma, ressalta-se que os estudos de fragilidade ambiental permitem uma melhor definição das diretrizes e ações a serem executadas no espaço físico-territorial, auxiliando para elaboração do zoneamento ambiental e fornecendo subsídios à gestão do território (Spörl, 2001; Spörl e Ross, 2004).

De acordo com Ross (1993; 2006) a fragilidade dos ambientes naturais face às intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas. Pode-se estabelecer paralelismo entre o avanço da exploração dos recursos naturais com o cada vez mais complexo desenvolvimento tecnológico, científico e econômico das sociedades humanas.

Qualquer alteração no relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos acarretam o comprometimento funcional do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico. Estas variáveis tratadas de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientais naturais (SPÖRL e ROSS, 2004). Para a presente pesquisa buscou-se os conceitos de fragilidade ambiental por estar relacionado com o grau de sensibilidade de uma variável, como, solos, geomorfologia, declividade, dentre outras.

Segundo Cabral (2016), o termo fragilidade está relacionado a sensibilidade dos componentes físicos do sistema a qualquer tipo de dano ocasionado naturalmente e/ou pela ação antrópica do uso do solo. Enquanto que o termo vulnerabilidade está mais relacionado ao grau de sensibilidade de um componente físico (solo, clima, geologia, geomorfologia, entre outros), a um determinado tipo de impacto, como, por exemplo, a perda do solo.

Os métodos de mapeamento da fragilidade e a vulnerabilidade ambiental no Brasil foram desenvolvidos por Ross (1994) e Crepani et al. (1996), bastante ancorados nos conceitos de Ecodinâmica apresentados por Tricart (1977), que estabeleceu as categorias morfodinâmicas para meios estáveis, meios intermediários e meios fortemente instáveis.

No método de Ross (1994) é apresentado duas cartas finais para fragilidade de um ambiente, sendo uma com a fragilidade potencial, onde é destacado os aspectos naturais de um ambiente, como pedologia, clima, relevo e outra carta com fragilidade emergente, a qual apresente os aspectos da fragilidade potencial em união com o uso da terra do ambiente.

Amaral (2009) propõe que para se obter essa classificação é necessário proceder a levantamentos de dados sobre o uso da terra (componente antrópica) e de relevo, solos e climas (componentes ambientais), que se constituirão fatores determinantes dos graus de fragilidade ambiental. Os fatores e os respectivos elementos que os compõem, considerados nesta análise, são dispostos no Quadro 2.

Cada um desses componentes deve ser analisado e hierarquizado quanto ao grau de fragilidade, numa classificação de 5 (cinco) classes hierárquicas, variando de muito alta, alta, média, baixa e muito baixa. A composição final do grau de fragilidade é a associação dos quatro fatores analisados, em que o fator uso da terra/cobertura vegetal é preponderante para determinar a classificação da Unidade Ecodinâmica (AMARAL e ROSS, 2009).

Quadro 2- Fatores e elementos para determinação da Fragilidade Ambiental

| Fatores de análise para a Fragilidade Ambiental | Componentes  |
|---|--|
| Uso e cobertura da terra                        | Densidade da cobertura vegetal; Presença e práticas conservacionistas                                    |
| Relevo  | Tipos de vertentes e Índices de declividade  |
| Solos   | Textura (análise granulométrica)<br>Profundidade/espessuras dos horizontes<br>Permeabilidade/compactação |
| Clima   | Distribuição anual e intensidade pluviométrica   |

Fonte: Amaral (2009)

A partir dessa hierarquização é possível indicar o equilíbrio dinâmico sem intervenção humana, predominando os processos pedogênicos nas classes de baixa fragilidade, e os processos morfogenéticos nas classes alta e muito (TRICART, 1977; SANTOS e MARCHIORO, 2020).

Assim, a associação numérica representa um dígito para o grau de proteção aos solos pela vegetação (natural ou cultivada), variando da mais protetora a menos protetora, outro para a intensidade de dissecação do relevo ou declividade, outro para a suscetibilidade à erosão dos tipos de solos, do menos suscetível ao mais suscetível, e,

finalmente, o quarto dígito, referente aos tipos de comportamento pluviométrico. (FERREIRA,2014)

Silveira e Oka-Fiori (2007) demonstraram em estudos realizados na bacia do rio Cubatãozinho, no estado do Paraná, que a fragilidade potencial ocorre nas regiões com maior declividade, onde os aspectos geomorfológicos correlacionados ao substrato geológico e pedológico, com solos mais rasos, associado aos altos índices de precipitação, torna as vertentes mais instáveis e propícias ao processo erosivo.

De acordo com Ross (1994), para se obter um panorama das condições de susceptibilidade do sistema é necessário realizar um estudo integrado dos elementos componentes do estrato geográfico que dão suporte à vida animal e ao homem, os quais analisados e inter-relacionados geram um produto analítico sintético que retrata a situação da área de estudo. Esta análise integrada permite obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais, resultando na carta síntese de Fragilidade/Vulnerabilidade Ambiental.

Ferreira (2014), determinou a fragilidade potencial pelo uso da análise do relevo, no entorno e dentro do Parque Estadual da Serra de Ricardo Franco, localizado no município de Vila Bela da Santíssima Trindade-MT, concluindo que é necessário e urgente a implantação, delimitação oficial e a regularização definitiva da área do Parque, uma vez que os conflitos fundiários e a exploração agropecuária em seu entorno podem levar a instabilidade dessa Unidade de Conservação. A hierarquização da área conforme as classes de fragilidade potencial, associadas às análises de ocupação constituíram uma ferramenta para orientação dos planos de zoneamento da região.

Desta forma, o estudo da fragilidade ambiental é indispensável para compreender a dinâmica do sistema e as transformações dele decorrentes para subsidiar o planejamento e definições das ações prioritárias destinadas a assegurar a qualidade dos recursos hídricos, solos, e a conservação da biodiversidade.

O mapeamento das fragilidade ambientais dentro do contexto das unidade de paisagem definida pelas bacias hidrográficas componentes da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (CNRH, Resolução n. 32/2003), destacam-se principalmente pelos seguintes aspectos ambientais (ANA, 2015): degradação dos solos, devido ao uso com finalidades que extrapolam a capacidade de sustentação do sistema, sobretudo nas áreas de intensa atividade agrícola; alteração da qualidade da água pelo uso inadequado das áreas de APP e das planícies de inundação; intervenções com obras de engenharia inadequadamente planejadas, favorecendo a ocorrência de processos erosivos; e

modificações na cobertura florestal, devido à exploração não-sustentável da vegetação primária e secundária.

A metodologia apresentada por Ross (1994) e Tricart (1977), permite uma análise integrada entre uso da terra e características físicas, dessa forma passamos a sustentar o conceito de capacidade de suporte (Filet, 1995; Machado, 1998 e Pacheco, 2012) ou seja é a capacidade que um determinado ambiente apresenta em acomodar, assimilar e incorporar um conjunto de atividade antrópicas sem que suas funções naturais sejam alteradas em termo de produtividade primária.

Ao avaliar o uso e ocupação da terra, a componente ambiental, ganha pauta importante nas discussões, ou seja, deve se considerar as possibilidades e potencialidades e mesmo as limitações do meio, que para Mota (1981), é a capacidade natural de utilização, onde deve ser considerado o uso dos recursos naturais, sob a ótica de “como deve ser feito” e não do “fazer ou não fazer”. Essa capacidade de suporte ambiental está diretamente relacionada com as atividades antrópicas e a utilização dos recursos naturais de uma determinada área.

Desta forma, foram analisadas as fragilidades da AEG-01 quanto a sensibilidade dos componentes físicos do sistema e os impactos ambientais ali ocasionados naturalmente e/ou pela ação antrópica do uso da terra, para apoiar na elaboração de planos de recuperação e zoneamento da área.

Além disso, a partir de metodologias baseadas na compreensão das características e da dinâmica do ambiente natural sob a perspectiva de suas fragilidades, foi possível mapear as zonas de aptidão hídrica e climática, fornecendo um instrumento que norteador para o planejamento da produção agrícola.

#### **4.5 Modelagem Dinâmica da paisagem e a gestão do uso da terra**

Os Modelos de Simulação são, em geral, construídos para testar teorias e conceitos de alterações na paisagem associadas com as dinâmicas humanas e ambientais e para explorar as implicações dessas dinâmicas em projeções futuras baseadas nas observações do mundo real.

As dinâmicas no uso e cobertura da terra são complexas e envolvem diversos componentes e processos sociais, bioquímicos, biogeográficos, ecológicos e socioeconômicos, os quais podem ser integrados nos Modelos de Simulação, já que estes aspectos podem ser considerados como inputs nestes modelos. Assim como os outputs

dos Modelos de Simulação podem ser usados como inputs na avaliação destes outros componentes (GEOGRAPHICAL SCIENCES COMMITTEE, 2014).

Modelos de sistemas procuram descrever o sistema como um todo, isto é, tentam representar as interações entre todos os seus componentes. Uma característica chave destes modelos é a eficiência com que abordam a dimensão espacial, implementando conceitos como as relações de vizinhança e suportando o uso combinado de múltiplas escalas.

A construção de um modelo de simulação requer que os principais aspectos que afetam o fenômeno estejam bem integrados, que seus relacionamentos funcionais estejam bem representados e que o modelo possa prever os impactos ecológicos e econômicos das mudanças ao longo do tempo.

Kawashima (2016), Cenários são imagens alternativas de futuro que facilitam a tomada de decisões. Eles delineiam conjecturas político-econômicas, sociodemográficas, legais, institucionais, ambientais, tecnológicas e outras, que serão responsáveis por desencadear mudanças passíveis de previsão, segundo um grau de certeza, em horizontes de projeto específicos. Cenários subdividem-se em estacionários e não-estacionários, em que os primeiros utilizam o diagnóstico das alterações pretéritas para direcionar as alterações que ocorrerão no futuro, reproduzindo tendências observadas no passado. Os não-estacionários, por sua vez, podem utilizar o diagnóstico das alterações pretéritas para simular alterações futuras, mas incorporam novas condições de contorno, como mudanças na conjuntura macro ou microeconômica, alterações em dispositivos legais, novas instalações de infraestrutura etc.

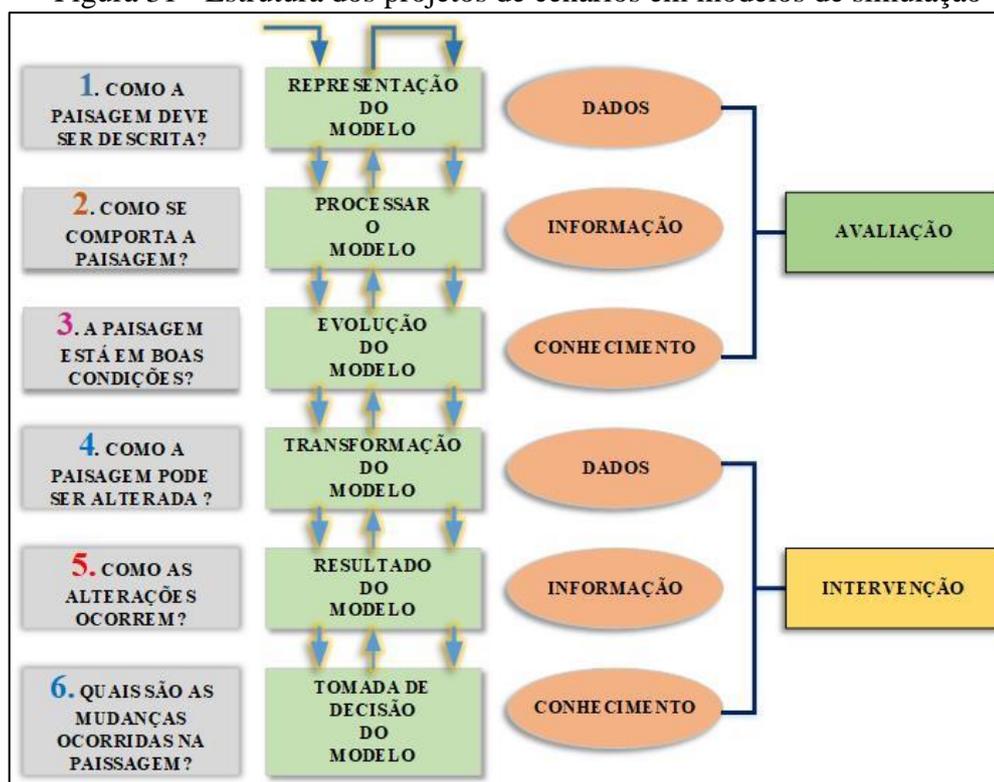
No caso particular deste trabalho, foi gerado um cenário não-estacionário considerando a implantação de empreendimentos portuários, cuja entrada em operação é prevista para ocorrer até o ano de 2024. Para a sua elaboração, foram mantidos os parâmetros obtidos no modelo de simulação gerado para o período de 2005 a 2013, no que tange ao tamanho médio e variância das manchas de paisagem, percentual de *expander* e *patcher* e índice de isometria. Uma nova matriz de transição foi extraída para o período entre 2013 e 2024, com o objetivo de quantificar o número total de novas células que transicionarão para a classe Urbano nesse horizonte de projeto.

Estes modelos são adequados para representar processos não estacionários, mas apresentam dificuldades para sua expressão espacial, pois tratam o espaço como uma entidade homogênea (LAMBIN, 1994).

Assim como, nas operações em plataformas de geoprocessamento, nas operações de modelagem de paisagem é necessário responder perguntas clássicas como “por quê”, “quando” e “onde” para que se possa descrever qualitativamente um fenômeno e prever sua evolução, integrando suas escalas temporais e espaciais.

Nesse sentido, Steinitz (2012) apresenta seis modelos (Figura 31) que descrevem o processo de planejamento global sobre a ótica dos projetos de simulação de cenários.

Figura 31 - Estrutura dos projetos de cenários em modelos de simulação



Fonte: Steinitz (2012), modificado pelo autor.

Na estrutura proposta de Steinitz (2012) para elaboração de cenários, os três primeiros modelos (modelos 1, 2 e 3) compreendem o processo de avaliação, olhando para as condições existentes dentro de um contexto geográfico.

Os três modelos seguintes (modelos 4, 5 e 6) compreendem o processo de intervenção, olhando como o contexto pode ser mudado, as possíveis consequências dessas mudanças e se o projeto deve ser alterado.

Os modelos de mudança de paisagem se aplicam a partir do modelo 4 da estrutura de Steinitz, onde se trabalha com a capacidade propositiva de gerar cenários de planejamento, e avaliar suas consequências de acordo com as seguintes etapas:

1. Modelo conceitual: Refere-se ao levantamento das entidades e dos relacionamentos que se dão no fenômeno a ser estudado. É a compreensão de como se dá o comportamento espaço-temporal do evento a ser analisado.

2. **Formulação matemática:** As hipóteses qualitativas devem ser expressas em linguagem matemática. Nesta etapa, deve-se usar das informações disponíveis para a construção do modelo e avaliar a correção dos enunciados e das equações que descrevem o comportamento dinâmico dos elementos e processos do sistema. Esta etapa requer que as formulações e os conceitos vagos sejam definidos pelo rigor do critério matemático. O resultado deste nível de abstração é a conceituação humana da realidade descrita na forma matemática. Normalmente só as propriedades consideradas relevantes são incorporadas ao modelo.
3. **Verificação/Teste de integridade do modelo:** Refere-se aplicar o modelo e verificar se todas as variáveis estão conectadas e avaliar seus valores, unidades e equações que as representam. Deve-se, portanto, verificar se os algoritmos e os códigos computacionais estão corretos para as definidas relações matemáticas. Isto pode ser feito através do uso de técnicas numéricas, ou seja, resolver as questões pelo uso de procedimentos computadorizados.
4. **Calibração:** Refere-se à etapa de avaliar/testar se os valores dos coeficientes das equações estão corretos, se as variáveis selecionadas respondem pelo modelo e se o modelo chega a um resultado aceitável.
5. **Validação:** Verificar se os resultados obtidos são confiáveis e o quão próximo da realidade eles estão. Cabe ressaltar que o processo de calibração e validação se dá com dados diferentes. Uma possibilidade de aplicação é calibrar o modelo com os dados do  $T_0 \rightarrow T_1$  e a validação se dar do  $T_1 \rightarrow T_2$ . Desta forma, comparam-se os dados simulados com o cenário real.
6. **Projeções Modeladas:** Qualquer descrição do futuro ou dos caminhos que levarão a ele. Refere-se aos resultados obtidos no modelo após a simulação dos pressupostos adotados e das regras de transição aplicadas.
7. **Cenário:** Após a definição dos objetivos, parte-se para a etapa que se configura com a formulação de hipóteses territoriais, ou seja, criar uma suposição de algo verosímil, possível de ser verificado, a partir da qual se extrai um resultado. Em outras palavras, é verificar a "chance" ou "possibilidade" de um determinado fenômeno acontecer, ou ser intensificado/minimizado diante de condições previamente estabelecidas e validadas.

Os Modelos de Simulação têm sido aperfeiçoados ao longo do tempo com os avanços tecnológicos (software e hardware), nas técnicas estatísticas, sobretudo a

estatística espacial, e com os maiores investimentos na aquisição e manutenção dos dados geográficos.

Os dados geográficos podem ser apresentados inicialmente nos formatos vetoriais e matriciais, mas para a utilização destes nos Modelos de Simulação todos devem estar no mesmo sistema de projeção cartográfica, mesmo formato (matricial ou vetorial), mesmo recorte de dados, mesma resolução espacial, para assim minimizar as incertezas dos dados.

Além disso, ao final da projeção futura o resultado deve ser testado estatisticamente e apresentar um nível de confiabilidade. A avaliação dos resultados vai depender da metodologia que foi empregada na construção do modelo de mudança.

Hoanh et.al (2012), comparou modelos de otimização do uso da terra e da água, na região do Delta do rio Mekong vietnamita, uma das maiores produtoras de arroz do mundo, com uma vasta planície de inundação, com uma área total de quatro milhões de hectares. A rede fluvial do Delta consiste em nove estuários e uma densa rede de canais construída nos últimos 300 anos. As estruturas compreendem 7.000 km de canais principais, 4.000 km de canais secundários e sistemas on-farm<sup>5</sup>, e mais de 20.000 km de diques de proteção para evitar enchentes. Foram aplicados modelos físicos (hidrodinâmicos e de salinidade), modelos de avaliação econômica (como o modelo de planejamento QLPH de uso da água) e modelos de participação social (RiceShrimpMD), buscando envolver as atividades de modelagem na definição de políticas e intervenções de gestão: expansão área de irrigação, avaliação socioeconômica, redução das inundações e gerenciamento do uso da água.

O governo vietnamita utilizou os resultados da modelagem para implantar as zonas de desenvolvimento agrícola, considerando 3 cenários:

- 1- Moderado, sem captação de água adicional (novas outorgas) no período crítico e redução da área plantada e controle da lâmina de água;
- 2 - Intermediário, sem limites para captação de água e controle da lâmina de água;
- 3 - Extremo, sem limites de captação (novas outorgas) e controle de lâminas de água no processo de irrigação por inundação.

---

<sup>5</sup> on farm é a manutenção da biodiversidade agrícola presente dentro de populações de muitas espécies usadas diretamente na agricultura e como fontes de genes, nos habitats onde tal diversidade emergiu e continua a crescer

#### 4.5.1 Modelos de simulação dinâmica

Modelos de Simulação Dinâmica Espacial baseiam-se em modelos de ecossistemas com extensões para acomodar a heterogeneidade espacial e processos humanos de tomada de decisão. Uma abordagem para desenvolver modelos de simulação dinâmica espacial é representar o espaço como uma matriz de células e aplicar as equações matemáticas a cada uma das células da matriz, simultaneamente (PEDROSA, 2002).

Cada célula do modelo está conectada com suas células vizinhas, de tal forma que é possível estabelecer um fluxo entre células adjacentes. Isto simplifica sobremaneira o mecanismo de predições do sistema porque por exemplo, se uma célula tem três vizinhos com estado  $x$ , é altamente provável que o estado desta célula venha a ser  $x$  também (PEDROSA, 2002).

Entretanto, este raciocínio simplista pode ser aperfeiçoado em regras de transição. Outro aperfeiçoamento desse modelo é a possibilidade de incorporar processos de tomada de decisões. Modelos que incorporam este mecanismo são chamados modelos baseados em regras. As regras de tomada de decisão são representadas através de abstrações muito semelhantes àquelas que ocorrem na mente humana.

De acordo com Lambin (1994, 1997, 2004), os modelos de mudança de uso da terra devem procurar responder a pelo menos uma das seguintes questões:

- Quais variáveis socioeconômicas e biofísicas mais contribuem para a mudança de uso da terra em determinada região? E como elas contribuem?
- Em quais áreas a mudança ocorrerá?
- Em que taxa ocorrerá tais mudanças de uso e cobertura da terra?

Para o autor estas questões são chaves para responder aos clássicos “Porquê”, “Quando” e “Onde”. Um modelo que responde a estas questões é capaz de descrever quantitativamente um fenômeno e prever sua evolução, integrando suas escalas temporal e espacial.

Lambin (2000), afirma que existem quatro amplas categorias de modelos que podem ser usados para responder a essas diferentes questões (ver Quadro 3): modelo estatístico-empírico, modelo estocástico, modelo de otimização e modelo de simulação dinâmica (baseado em processos).

Quadro 3- Resumo das categorias de modelos

| <b>Modelo</b>                 | <b>Porquê</b>  | <b>Quando</b>   | <b>Onde</b>  |
|-------------------------------|--|---|--|
| Estatístico-Empírico          | Identificam as causas da mudança de cobertura da terra usando a análise multivariada das possíveis variáveis exógenas para empiricamente, derivar as taxas de mudança. | Testam se determinada variável causal tem alguma relação com a mudança de uso da terra na região de estudo.                               | Armazenados em BD e combinados em SIG                        |
| <b>Modelo</b>                 | <b>Porquê</b>  | <b>Quando</b>   | <b>Onde</b>  |
| Modelo estocástico            | consistem principalmente de modelos de probabilidade de transição, estocasticamente definidos (a exemplo das cadeias de Markov)  | As probabilidades de transição são estatisticamente estimadas através da amostragem das mudanças ocorridas em determinado espaço de tempo | Simplicidade operacional e matemática (matricial e Vetorial) |
| Modelo de otimização          | baseados na análise da propriedade em estudo, através de programação linear em uma escala microeconômica/Macroeconomica, ou em modelos de equilíbrio geral,            | Mudanças de uso da terra são dirigidas pela rentabilidade de seus diferentes usos.  | Armazenados em banco de dados e combinados em SIG            |
| Modelos de simulação dinâmica | Imitam o desenvolvimento dos processos de evolução a interação dos componentes do sistema  | apresentam cenários com mudanças de uso em função dos parâmetros do modelo  | Indicam a evolução dos padrões espaciais                     |

Fonte: Adaptado de Lambin (2000). Elaborado pelo próprio autor

Esses modelos permitem uma rápida exploração dos prováveis efeitos da continuidade das práticas de mudança de uso da terra ou de cenários decorrentes em alguns desses parâmetros.

Os modelos de simulação de dinâmica espacial baseiam-se em modelos de ecossistemas com extensões para acomodar a heterogeneidade espacial e processos humanos de tomada de decisão. Modelos espaciais dinâmicos construídos com esta visão de projeto devem ser capazes de representar de forma realista os fenômenos dinâmicos encontrados na natureza, superando as limitações dos modelos atuais, baseados em concepções limitadas quanto às representações do espaço, do tempo e dos processos (PEDROSA, 2002).

Na presente pesquisa foi usado o modelo de simulação dinâmica espacial, pela própria característica da AEG-01, buscando avaliar um possível cenário futuro diante das mudanças que ocorrem na região.

Para Soares-Filho et al. (2007), os componentes básicos de qualquer modelo de detecção de mudança da paisagem consistem em: (a) uma configuração inicial, (b) função de mudança e (c) configuração de saída. Os autores descrevem a configuração inicial como, por exemplo, um mapa da paisagem ou de uso e cobertura da terra, derivados de dados de sensoriamento remoto por processamento digital de imagem.

A função de mudança pode usar ambas as funções matemáticas contínuas ou discretas, envolvendo desde uma equação linear diferencial, no caso de o tempo ser considerado como uma variável contínua, ou exemplos mais complexos, como a utilização de sequências de regras de decisão (SOARES-FILHO et al., 2007). A saída consiste em mapas simulados definidos por um número de intervalo de tempo.

O componente principal da construção de uma função de mudança envolve sua quantificação e na sequência irá operar sobre os mapas de probabilidades de transição para alocação espacial dessas mudanças (SOARES-FILHO et al., 2007). A utilização de uma matriz de transição pode representar os elementos de uma paisagem e suas transições, fornecendo o elemento quantitativo dessas mudanças, sendo então peça principal na modelagem.

Um modelo de transição requer a especificação de um número finito de estados e que sejam conhecidas as probabilidades, ou as taxas de transição de um estado para outro em um intervalo de tempo discreto (SOARES-FILHO et al., 2007). A discretização de modelos de simulação passa pela seleção de variáveis explicativas e pelo cálculo de seus efeitos nas mudanças, resultando em um mapa de favorabilidade ou probabilidade de mudança (SOARES-FILHO et al., 2007).

A metodologia de modelagem da dinâmica espacial do uso e ocupação do solo, possibilita a construção de cenários futuros de curto e médio prazos, permitindo ao usuário final uma clara dimensão dos processos inseridos em cada unidade.

#### **4.5.2 Modelos Autômatos Celulares**

No Jogo da Vida apresentado por Jonh Conway em 1982, o espaço é representado como uma grade de células, algumas das quais estão vivas e outras mortas, demonstrando que regras muito simples quando aplicadas repetidamente sobre estados aleatórios, produzem resultados semelhantes à forma como certos sistemas evoluem no mundo real. O que determina o estado de uma célula é sua vizinhança que, neste caso, é definida por quatro células adjacentes. Este sistema deu grande popularidade aos conceitos de

autômatos celulares, que foram inicialmente apresentados por John Von Neumann (Roy and Snickars, 1996)

Pedrosa (2002) destaca a importância das regras de transição aplicadas em cada célula, uma vez que determinam quando e por quê o estado de uma célula se altera, e podem ser qualitativas ou quantitativas.

As regras de transição especificam que o estado de uma célula num instante  $t+1$  é igual ao dos seus vizinhos no instante  $t$ , se estes vizinhos tiverem os estados iguais; caso contrário, o estado da célula permanece o mesmo. A dinâmica de aplicação das regras de transição em um autômato celular é semelhante à de um filtro espacial. Desta forma, todas as células são avaliadas e, quando for o caso, modificadas para um novo estado (CÂMARA, 1996).

Modelos de autômatos celulares consistem em um ambiente de simulação representado por um espaço em forma de grade, no qual um conjunto de regras de transição determina o estado de cada célula, levando em consideração os atributos das células de sua vizinhança (Almeida, 2007).

Assim sendo, a estrutura dos modelos Autômatos Celulares, segundo Kim & Batty (2011), devem apresentar as seguintes características:

- Uma estrutura computacional básica (pixel);
- A resolução espacial deve ser informada;
- Uma estrutura bidimensional (número de linhas e colunas) das células que preenchem o espaço estudado; e
- Um valor de atributo às células relevantes de 0 a 255.

As condições que regem a mudança de um estado a partir de uma célula para outra são tipicamente definidas pelos estados de células vizinhas, no caso de sistemas de Autômatos Celulares simples.

Na projeção modelada, deve-se informar os passos temporais ou o número de interações que devem ocorrer aplicando a metodologia de Automato Celular. O número total de interações é baseado no número de passos temporais que o usuário definir para a sua projeção. Por exemplo, se a projeção será de 10 anos para o futuro, então o usuário deve informar ao software que este deve completar a projeção em 10 passos (CARVALHO, 2015)

O mesmo autor explica que, dentro de cada iteração, todas as classes de cobertura da terra normalmente perdem área para uma ou mais das outras classes (e também podem

ganhar área à partir de outras). Assim, no âmbito da consideração de cada interação, a classe requerente adquirir terra do uso inicial com base no mapa de aptidão (construído externamente ao processo), ou com base nas Imagens de probabilidade de mudança condicionais.

#### **4.5.3 Modelo Dinâmica EGO**

O DINAMICA é uma ferramenta de modelagem desenvolvida e mantida pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) pertencente ao Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais para ser aplicada a uma variedade de estudos de dinâmica da paisagem e modelagem ambiental.

O software DINAMICA foi desenvolvido por Soares-Filho et al. (1998, 2002) e a partir de reformulações passou a denominar-se DINAMICA EGO (Rodrigues et al., 2007).

O modelo Dinâmica EGO (Environment for Geoprocessing Objects) é orientado a processos e passível de comportar implementações baseadas em agentes no nível macro e em modelos customizados. É um modelo aberto a diferentes parametrizações (pesos de evidência, regressão logística, redes neurais, árvore de decisão etc.), possui algoritmos de transição por evidência. A matriz de transição permite o cálculo das probabilidades de transição, que por sua vez, permitem a execução de simulações pretéritas e a geração de cenários prospectivos variados.

O total de mudanças para cada tipo de transição da cobertura da terra em um dado período de simulação é realizado pelo cálculo das probabilidades globais de transição do modelo, sem levar em consideração as particularidades espaciais locais, que são aquelas pertencentes a cada célula da área de estudo em termos das características físicas ou de infraestrutura. "De forma diversa das probabilidades globais, as probabilidades locais de transição são calculadas para cada célula e, sendo assim, consideram as especificidades naturais e antrópicas do sítio físico" (XIMENES et al., 2008). Com base nos mapas inicial e final é gerada uma matriz, de onde são calculadas taxas de transição por períodos estabelecidos.

Para analisar quais variáveis são mais importantes em cada transição, o método de pesos e evidências atribui o grau de influência de cada uma delas, para que se possa entender os processos ocorridos na mudança de cobertura e uso (GONÇALVES et al.,

2007). Para categorizar as variáveis contínuas são calculados intervalos nos mapas de distâncias, de forma semelhante a um fatiamento.

Além das distâncias às estradas e cursos d'água, são adotadas as distâncias às classes envolvidas nas transições. Esse resultado é utilizado no cálculo dos pesos de evidência, que por sua vez, são utilizados para derivar os mapas de probabilidade de transição, utilizados nas simulações (NOVAES et al., 2011).

Nas últimas décadas, a ampla divulgação e disponibilização de dados de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas deu impulso os modelos de dinâmica de paisagem. Com a incorporação de conceitos de autômatos celulares, lógica fuzzy e inteligência artificial, como redes neurais, sistemas multiagentes e algoritmos genéticos, os modelos de dinâmica se tornaram cada vez mais sofisticados, permitindo a integração com sistemas de informação geográfica, para uma melhor análise espacial das alterações de paisagens e entendimento de seus padrões, dando mais fidelidade e segurança na prospecção de cenários futuros (PAEGELOW & CAMACHO, 2008; DALLA-NORA, 2014).

O desenvolvimento dessas ferramentas possibilitou a investigação das mudanças de uso e ocupação da terra, analisando as dinâmicas que ocorrem nesses ambientes, alguns autores que utilizaram os modelos de simulação dinâmica, abordaram que de modo geral, o modelo reproduz os padrões espaciais com fidelidade e as probabilidades de mudança seguem uma certa tendência.

Dias (2011) utilizou as técnicas de simulação, na avaliação da dinâmica espacial do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Lago Paranoá. Identificando os processos de mudança de paisagem e a criação de cenários futuros para os anos de 2014 e 2020. Os prognósticos modelados para os dois períodos futuros indicaram uma saturação no espaço territorial das unidades hidrográficas estudadas caso mantenha-se a tendência de mudança no uso do solo avaliado nos períodos anteriores.

Estudo realizado por Lopes (2018), sobre a evolução das mudanças de uso e cobertura da terra, analisou a evolução do uso e cobertura do solo e fragmentação da paisagem nos últimos 30 anos, utilizando os modelos de simulação dinâmica, no Cerrado piauiense que vem gradativamente sendo substituído pela agropecuária, os resultados mostraram que o relevo foi determinante para a ocupação antrópica, principalmente para a agricultura mecanizada de grãos.

Macedo (2018) aplicou o modelo DinâmicaEGO para simular as mudanças de uso e cobertura da terra vinculadas a expansão agrícola no município de Campos Novos-SC,

para o período de 2003 a 2012, o mapa de mudança de uso e ocupação da terra gerado pela tabulação cruzada do modelo mostrou uma mudança de quase 20% da área do município, indicando as áreas com processos relacionados à degradação de ambientes nativos, ou seja, a expansão agrícola ocupando áreas que antes eram ocupadas por vegetação nativa. O autor concluiu que o método de pesos de evidência, do modelo, possibilitou analisar quais variáveis são as mais importantes em cada transição. Tal fato tem papel fundamental no entendimento do processo de mudança de uso e cobertura da terra.

Segundo Furlan (2012) os prognósticos dos cenários prospectivos a partir de modelagem de dados espaciais fornecem suporte ao planejamento e à gestão de políticas públicas para o ordenamento territorial a curto e médio prazo.

Cenários prospectivos baseados em modelos de simulação de uso e ocupação da terra permitem a avaliação de várias hipóteses com a finalidade de prever as consequências da dinâmica de ocupação de determinada área, podendo assim minimizar possíveis impactos ambientais, com a implantação de políticas para o ordenamento territorial.

## 5. METODOLOGIA

O presente trabalho desenvolveu-se em 6 etapas. A Etapa 1 consistiu na pesquisa sobre a ocupação do território tocantinense e o desenvolvimento da produção agrícola bem como a sua expansão até os dias atuais (Capítulo 2). A Etapa 2 contemplou o levantamento de informações sobre as características físicas e o meio socioeconômico, incluindo dados geográficos das bases da SEPLAN-TO, MAPBIOMA, IBGE, CONAB, EMBRAPA, que foram processados e verificados em campo, resultando no diagnóstico e caracterização da AEG-01, conforme apresentados no Capítulo 3.

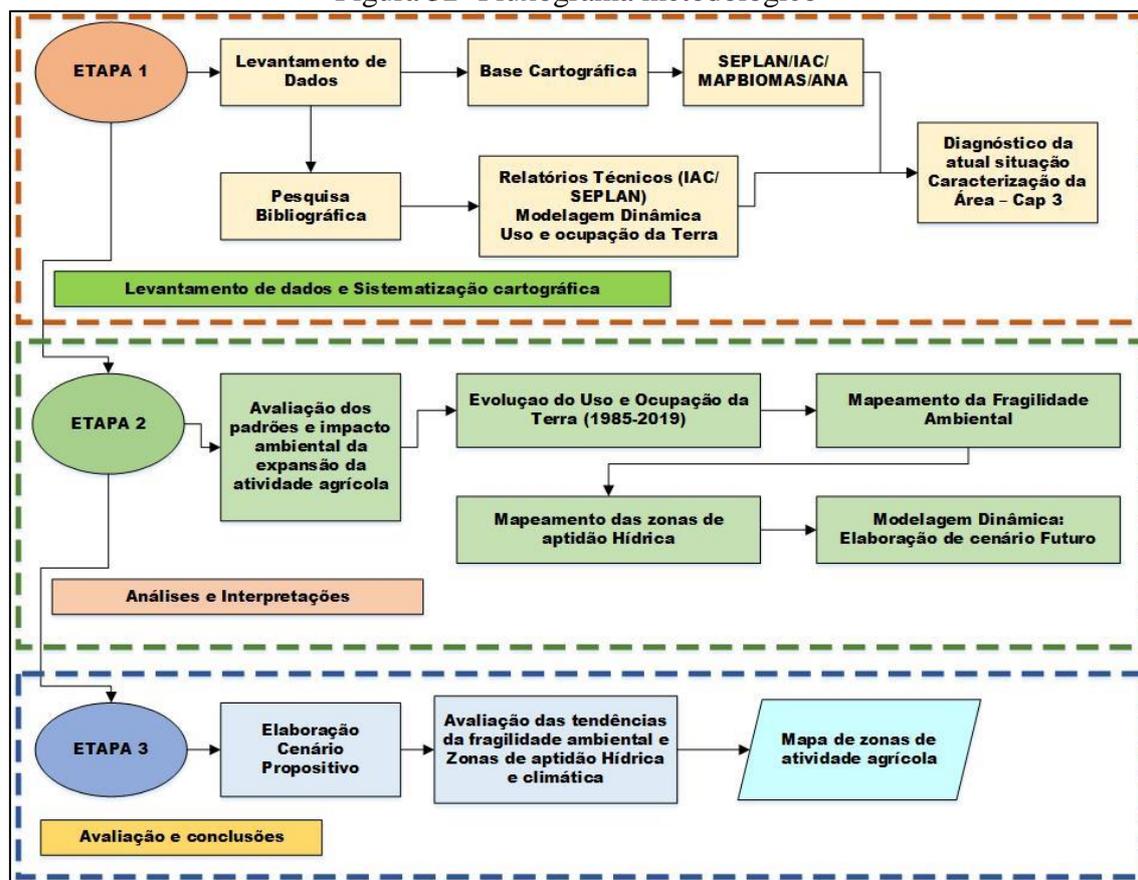
Em seguida, procedeu-se à organização desses dados em forma de tabelas, quadros, mapas, figuras e gráficos, dando sequência a formação do banco de dados geográficos na plataforma do software ArcGis. Foi realizado um processo de levantamento, ordenamento e recuperação de informações, nas escalas 1:1.000.000, 1:500.000, 1:250.000, 1:1000.000 e 1:50.000. A maioria dos dados socioeconômicos compilados para o presente trabalho tem por base os censos (Agropecuários e Demográficos) realizados pelo IBGE, sendo complementados com informações disponibilizadas pela SEPLAN-TO.

Etapa 4 abordou os conceitos de uso e ocupação da terra, usos da água na agricultura e os modelos de simulação dinâmica e suas características (Capítulo 4). Na Etapa 5 foram avaliados os padrões e impactos das mudanças que ocorreram na área de estudo, visando espacializar e compreender as dinâmicas de uso e ocupação da região ocorrido nos últimos 34 anos, bem como o mapeamento da fragilidade ambiental e zonas de restrição hídrica e climático para a elaboração de cenário futuro.

A Etapa 6 contemplou a construção do cenário futuro e propositivo para uma projeção de 10 anos, ou seja, para o ano de 2029. Foi avaliada a expansão das áreas de produção agrícola e suas correlações com as fragilidades ambientais, bem como as restrições hídricas e climáticas, que foram especializadas em um mapa de zonas de aptidão para produção agrícola da AEG-01.

As etapas da pesquisa podem ser visualizadas no fluxograma abaixo (Figura 32), e foram divididas em levantamento dos dados e sistematização cartográfica, análise e interpretações, avaliações e conclusões.

Figura 32- Fluxograma metodológico



Fonte: Próprio autor

### 5.1 Levantamento dos dados e sistematização cartográfica

A base de dados foi criada no sistema de informação geográfica ArcGis<sup>TM</sup> 10.3 Desktop. Para a manipulação dos dados e criação de mapas temáticos foi usado o aplicativo ArcMap<sup>TM</sup> e para o gerenciamento do Banco de Dados o aplicativo ArcCatalog<sup>TM</sup>. O sistema de projeção cartográfica adotado foi SIRGAS-2000 (*Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas*), e todos os dados foram projetados para esse mesmo sistema. Os dados e suas fontes estão descritos no Quadro 4.

Os mapas de uso e ocupação foram obtidos na Plataforma digital MapBiomias<sup>6</sup> em formato raster, enquanto que os inventários, diagnósticos socioeconômicos e anuários estatísticos institucionais foram adquiridos pelo IBGE e pela SEPLAN-TO. Estes dados possibilitaram o diagnóstico da atual situação da área em estudo, conforme apresentado no capítulo 3.

<sup>6</sup> Iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. Mais informações em: <https://mapbiomas.org>

Quadro 4- Descrição dos dados utilizados nas etapas da pesquisa

| Informações obtidas / Formato   | Fonte  |
|---|--|
| Uso e ocupação da terra – Formato Raster  | Plataforma digital MapBiomas (coleção 5)                           |
| Pedologia/ Geomorfologia/ Hidrografia/ Malha Viária/Carta Climática/Terras indígenas/APA/Vegetação/Limites Municipais. Arquivo Vetorial | Seplan (2012)<br>Base cartográfica TO<br>(1:500.000 e 1:1.000.000) |
| Declividade (imagem SRTM- 30m) Formato Raster   | TOPODATA – Banco de dados Geomorfométrico do Brasil - INPE         |
| Recorte da AEG-01 (Formato Vetorial)  | Plano Estadual de Recursos Hídricos (1:100.000)                    |
| Área de produção Agrícola oficial (Formato Vetorial)  | CONAB (1:50.000)   |
| Diagnósticos da crise hídrica. Formato (PDF e planilhas)  | Projeto Gestão de Alto Nível/IAC                                   |

Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.2 Análise e Interpretação dos dados

Nesta etapa foram avaliados os padrões do impacto ambiental na expansão da atividade agrícola, para tanto foram utilizadas as imagens classificadas do banco de dados do MapBiomas em formato matricial e resolução espacial de 30 m, da coleção de imagens da série do satélite Landsat, referente a coleção 5 - cobrindo o período de 1985 – 2019 (publicada em agosto de 2020), onde foram obtidas as classes de uso e ocupação da terra, que são identificadas pelo valor numérico de cada célula associado a uma legenda.

O recorte da AEG-01, apresentou 9 classes, sendo que cada uma delas estava associada a um identificador: Formação Florestal (3); Formação Savânica (4); Formação campestre (12); Pastagem (15); Área Urbana (24); Outras áreas não vegetadas (25); Corpos D'água (33); Soja (39); Outras Lavouras (41)

### 5.2.1 Evolução do uso e ocupação da terra de 1985 a 2019

O mapeamento do uso e ocupação da terra no período de 1985 a 2019 (34 anos), foi dividido por períodos: de 1985 a 2000 (15 anos), 2000 a 2010 (10 anos) e 2010 a 2019 (9 anos).

As classes de uso e ocupação da terra, estavam agrupadas em 9 categorias, porém, neste trabalho as classes menos frequentes foram reagrupadas, e optou-se por 5 categorias de uso e ocupação, para a melhor distinção entre as classes. O Quadro 5 apresenta o reagrupamento das classes.

Quadro 5 - Descrição das classes de uso e ocupação da terra na área de estudo

| Classe de uso e ocupação da terra | Características e reagrupamentos   |
|-----------------------------------|--|
| Formação florestal (3)            | Formação Savânica (4), Campestres (12)   |
| Pastagem (15)                     | Pastagens naturais ou plantadas, outras áreas não vegetadas (25)   |
| Área urbana (24)                  | Área urbanizada com predomínio de superfícies não vegetadas. A área de estudo é composta por 7 áreas urbanas, dos municípios de Formoso do Araguaia, Lagoa da Confusão, Pium, Sandolândia, Araguaçu, Dueré e Cristalândia. |
| Corpos de água (33)               | rios, lagos e reservatórios  |
| Outras Lavouras (41)              | áreas de cultivo agrícola e Soja (39)  |

Fonte: MapBiomias (2020), adaptado pelo autor

Após a reclassificação, os dados em formato raster foram transformados em formato vetorial para o cálculo das áreas de cada classe, bem com o percentual em relação a área total da AEG-01, para cada período analisado.

### 5.3 Mapeamento da Fragilidade Ambiental

Na elaboração do mapa de fragilidade ambiental na AEG-01 foi utilizado o método proposto por Ross (1994), que hierarquiza o grau de vulnerabilidade das unidades de paisagem. Assim, foram gerados mapas de fragilidade potencial e fragilidade emergente.

Segundo Ross (1994), podemos tratar as variáveis, pedologia, declividade, precipitação, geomorfologia e uso da terra estabelecendo uma classificação da fragilidade potencial e emergente a partir de uma associação de dígitos onde cada um dos números do conjunto numérico representa um determinado peso que podemos ser atribuídos de 1 a 5 ou seja do mais fraco ao mais forte, ou do mais protegido para o menos protegido.

Dessa forma, foram estabelecidos critérios para cada variável, pedologia, declividade, clima (precipitação), geomorfologia e uso da terra (para o ano de 2019), os planos de informações foram então reclassificados de acordo com os pesos de fragilidade atribuídos por Ross (1994). Para isso utilizou-se do software ArcGis 10.3, na extensão do *ArcMap<sup>TM</sup>* → *ArcTollbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Reclass* → *Reclassify*.

Os tipos de solos da área de estudo foram classificados de acordo com a proposta da EMBRAPA (2006) e adaptado com os tipos de solos da área de estudo, onde foram atribuídos os pesos segundo sua fragilidade ou suscetibilidade à erosão segundo o método proposto por Ross (1994), conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2- Classificação da fragilidade quanto a pedologia

| <b>Classe de Fragilidade Ambiental de acordo com Ross (1994)</b> | <b>Pedologia</b> |
|--|------------------|
| 1 – Muito Baixa  | Latossolos       |
| 2 – Baixa  | Argisolos        |
| 3 – Média  | Plintosolos      |
| 4 – Alta   | Gleissolos       |
| 5 – Muito Alta   | Neossolos        |

Fonte: Ross (1994), adaptado pelo autor

Os Plintosolos e Gleissolos foram relacionados as classes de fragilidade 3 e 4, respectivamente. Segundo Crepani et al. (1996), ambientes com esses tipos de solo apresentam níveis de vulnerabilidade mais alto por serem mais suscetíveis aos processos erosivos. São considerados como sendo solos em fase inicial de formação porque estão ainda se desenvolvendo a partir dos materiais de origem recentemente depositados, ou então porque estão situados em lugares de alta declividade, nos quais a velocidade da erosão é igual ou maior que a velocidade de transformação da rocha em solo (CREPANI, 2001).

Para a classificação da fragilidade de acordo com a declividade do terreno, conforme Ross (1994), foi estabelecida a classificação conforme apresentada na Tabela 3, com as faixas de declividade encontradas na região. Para a geomorfologia foi considerado ainda as propostas de Crepani (1996) e Florenzano (2008), reforçando as fragilidades hidrodinâmicas das planícies fluviais (inundações e assoreamentos), conforme tabela 4.

Tabela 3- Classificação da fragilidade quanto a declividade do terreno

| <b>Classe de Fragilidade Ambiental de acordo com Ross (1994)</b> | <b>Classes de Declividade</b>     |
|--|-----------------------------------|
| 1 – Baixa  | Inferior a 5%                     |
| 2 – Muito Baixa  | Levemente ondulado 5% a 10%       |
| 3 - Média  | Moderadamente ondulado 10 % a 15% |
| 4 - Alta   | Ondulado 15 % a 30%               |
| 5 – Muito Alta   | Declive 30 % a 45%                |

Fonte: Adaptado Ross(1994)

Tabela 4- Classificação da fragilidade quanto a geomorfologia do terreno

| <b>Classe de Fragilidade Ambiental de acordo com Ross (1994)</b> | <b>Classes de Geomorfologia</b> |
|--|---------------------------------|
| 1 – Baixa  | Dissecação Desnudado            |
| 2 – Muito Baixa  | Dissecação Estrutura            |
| 3 - Média  | Dessecação em Topo              |
| 4 - Alta   | Planície de Inundação           |
| 5 – Muito Alta   | Planíce Fluvial                 |

Fonte: Adaptado Crepani (1996)

Os dados sobre o clima são essenciais para as análises de fragilidade ambiental por fornecerem informações importantes sobre a variação e a intensidade pluviométrica da região. Além da Carta Climática (SEPLAN 2020), foram utilizados os índices pluviométricos de média anual referentes aos dados coletados das estações meteorológicas e pluviométricas da área, num total de 18 estações, distribuídas na AEG-01. Para a classificação da fragilidade quanto a intensidade de chuvas, foi considerada a proposta de Crepani et al. (1996), que relaciona a escala de vulnerabilidade segundo a erosividade da chuva pela intensidade pluviométrica (mm/mês), assim, foi possível estabelecer uma escala de vulnerabilidade conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação da fragilidade quanto ao índice pluviométrico

| <b>Classe de Fragilidade Ambiental de acordo com Crepani (1996)</b> | <b>Intensidade Pluviométrica média Anual (mm)</b> |
|---|---|
| 1 – Baixa   | 1280 – 1408                                       |
| 2 – Muito Baixa   | 1408 – 1536                                       |
| 3 - Média   | 1536 - 1664                                       |
| 4 - Alta  | 1664 - 1792                                       |
| 5 – Muito Alta  | 1792 - 1920                                       |

Fonte: Adaptado Crepani(1996)

Na classificação da fragilidade quanto ao uso da terra deve se considerar, segundo o método de Ross (1994), a hierarquia de graus de proteção aos solos pela cobertura vegetal, obedecendo em ordem decrescente da capacidade de proteção, como mostra a Tabela 6.

Segundo Cassetti (1991) as perdas de solos por tipo de uso da terra, para o Estado de Goiás (também Tocantins na época do estudo) são os seguintes: para formações florestais 0,03 ton/ha/ano; pastagem 0,23 ton/ha/ano e cultivo agrícola (arroz) 51,65 ton/ha/ano. Dessa forma foi possível estabelecer uma hierarquia segundo o grau de proteção para a área em estudo, considerando os tipos de usos, conforme Tabela 6.

Tabela 6- Capacidade de proteção do uso e cobertura da Terra

| <b>Grau de Proteção</b> | <b>Tipos de uso e cobertura</b> |
|-------------------------|---------------------------------|
| 1 – Baixa               | Pastagem                        |
| 2 – Muito Baixa         | Outras lavouras                 |
| 3 - Média               | Urbano                          |
| 4 - Alta                | Águas                           |
| 5 – Muito Alta          | Formações florestais            |

Fonte: Adaptado Ross (1994)

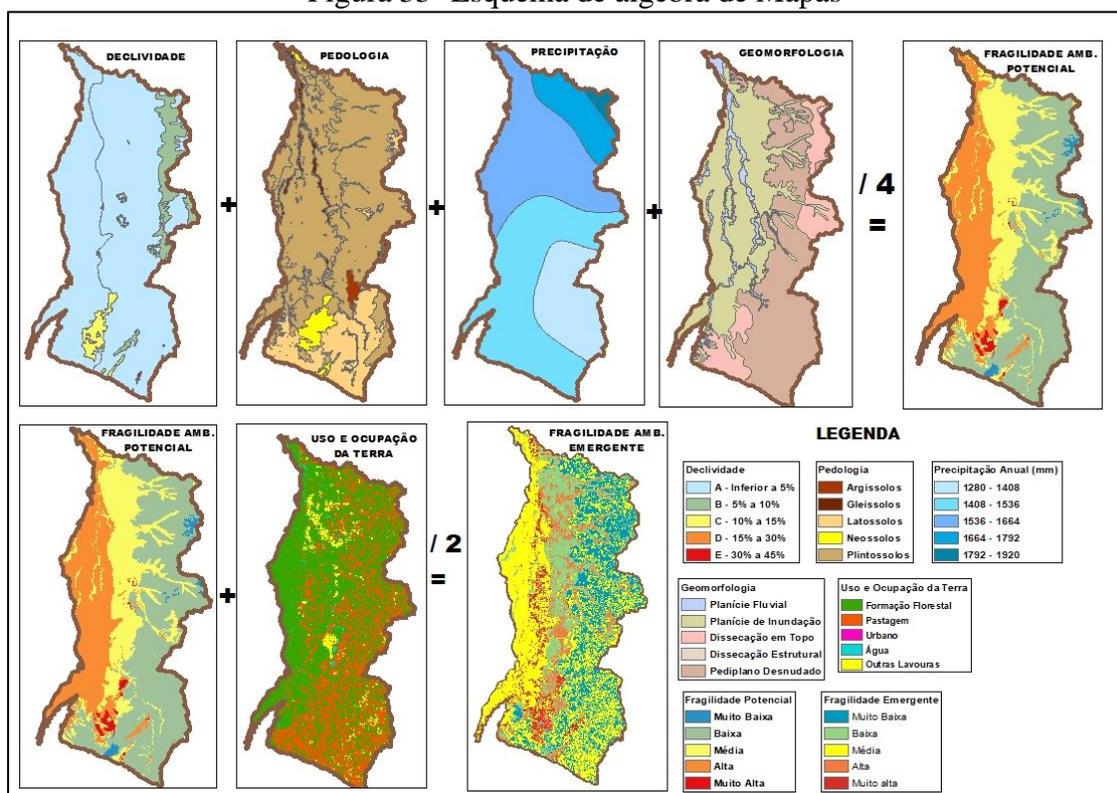
Após finalizados os mapas com os planos de informações e seus devidos atributos por pesos estabelecidos (Figura 34), procedeu-se a soma das variáveis (declividade, pedologia, precipitação e geomorfologia) e divide-se por 4, que resultou no mapa de fragilidade ambiental potencial, ou seja, com a representação das interferências apenas

dos aspectos naturais da AEG-01.

Para o mapeamento da fragilidade ambiental emergente, onde é considerado, as interferências dos aspectos naturais (potencial) e as interferências antrópicas, somou-se o mapa de fragilidade ambiental potencial ao mapa de uso e ocupação da terra (ano 2019) com seus graus de fragilidade estabelecidos e dividiu-se por 2. A Figura 34 ilustra o processo de elaboração da álgebra de mapas utilizados, desse modo na extensão do *ArcMap<sup>TM</sup>* → *ArcTollbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Map Álgebra* → *Raster Calculator*.

Os mapas de Fragilidade Ambiental Potencial e Fragilidade Ambiental Emergente foram gerados com base na paleta de cores estipuladas na metodologia de Crepani et al. (1996), que segue o critério de “associação das cores “quentes” e seus matizes (vermelho, amarelo e laranja) a situações de emergência, e as cores “frias” e seus matizes (azul, verde) a situações de tranquilidade” (CREPANI, et al. p.23, 2001).

Figura 33- Esquema de álgebra de Mapas



Fonte: elaborado pelo próprio autor

#### 5.4 Mapeamento das zonas de Aptidão hídrica e climática

Para a elaboração do mapa de zonas de aptidão hídrica e climática foram utilizados os dados de temperatura, evapotranspiração real e máxima e deficiência hídrica da Carta Climática disponibilizada pela SEPLAN-TO. Todos os dados de clima foram

determinados a partir das 18 estações meteorológicas e pluviométricas, sendo 02 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e 16 da Agência Nacional de Águas (ANA) e CPRM, em um período de 30 anos (1990 - 2019).

Para Almeida (2005), o desequilíbrio entre temperatura e deficiência hídrica comprometem o desenvolvimento foliar das culturas, exigindo um adequado manejo da demanda hídrica. Por exemplo, temperaturas mais elevadas e deficiência hídrica tendem a acelerar o desenvolvimento da planta em todas as fases, enquanto temperaturas amenas e períodos chuvosos tendem a manter a planta em estado vegetativo mesmo em fase de maturação completa.

Dessa forma, procedeu-se a avaliação das demandas hídricas, temperatura e índices de evapotranspiração dos principais grãos produzidos na região AEG-01, como a soja, o arroz e o milho. Carvalho et. al. (2013) estabeleceram as seguintes demandas hídricas: para a soja varia entre 450 a 850 mm, o arroz de 450 a 700 mm, e o milho fica em torno de 500 a 800 mm de água, durante todo ciclo. Considerou-se para temperatura a combinação de variação 20° a 30°, para as três culturas, conforme estudo de Almeida (2005).

O coeficiente de evapotranspiração de uma cultura ( $K_c$ ) é a relação entre evapotranspiração real e máxima ( $E_{Tr}/E_{Tm}$ ). Assim, foram estabelecidas três classes, de acordo com Farias (2009) e adaptado para nossa região, com as seguintes classes: favorável ( $K_c = 0,65$ ), intermediária ( $K_c$ : entre 0,65 e 0,55) e desfavorável ( $K_c = 0,55$ ) e muito desfavorável ( $K_c$  menor que 0,55)

Com a espacialização dos parâmetros das demandas hídricas, temperaturas e coeficiente de evapotranspiração foi possível relacionar os dados de deficiência hídrica, que é calculado a partir de parâmetros de evapotranspiração potencial ( $E_{Tp}$ ) e precipitação, disponibilizados pela Seplan (2020) e elaborado segundo a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955).

Esses dados foram então reclassificados quanto as restrições por faixa, seguindo o critério de grau de importância de cada fator pelo método de análise multicritério. Considerando uma escala de 1 a 4, cada faixa foi classificada segundo suas limitações e possibilidade climáticas para a cultura dos grãos.

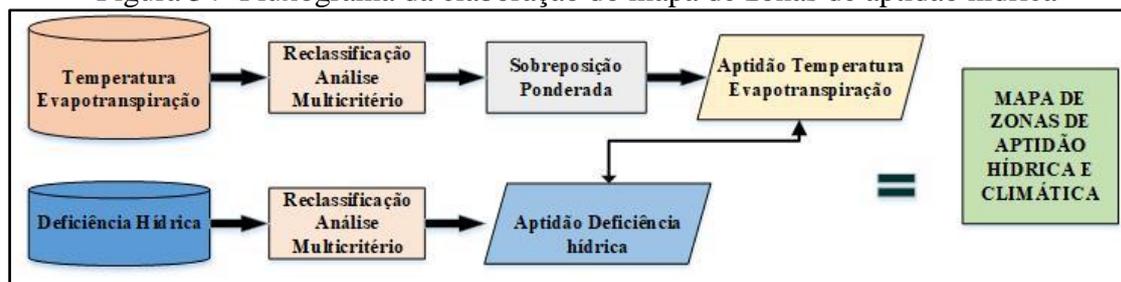
A deficiência hídrica é calculada para determinar a variação de armazenamento de água no solo sem aplicação de irrigação a partir dos dados de precipitação e evapotranspiração potencial. Correspondem assim, a capacidade de água disponível, sendo a componente de sinal negativo do balanço hídrico climatológico, com a finalidade

de determinar a variação de armazenamento de água no solo sem a aplicação de irrigação (PEREIRA, ANGELOCCI E SENTELHAS, 2007).

Para as etapas de reclassificação e sobreposição ponderada dos mapas, utilizou-se do *software ArcGis™* 10.3, na extensão *ArcMap™* → *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Reclass* → *Reclassify* e *ArcMap™* → *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Overlay* → *WeightedOverlay*. Por fim utilizou a álgebra de mapas na extensão do *ArcMap™* → *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Map Álgebra* → *Raster Calculator*, para a soma entre os mapas de Aptidão de temperatura/evapotranspiração e aptidão quanto a deficiência hídrica.

A Figura 34 mostra o fluxograma das etapas metodológica que possibilitaram a geração de um mapa de zonas de aptidão hídrica e climática para a produção agrícola. Inicialmente realizou-se a reclassificação dos mapas de temperatura e evapotranspiração, onde foram estabelecidas as classes seguindo os critérios adotados pelo coeficiente da evapotranspiração e a combinação das faixas de temperaturas, e então realizou-se a sobreposição ponderada para a elaboração do mapa de zonas de aptidão hídrica e climática foram utilizados os dados de temperatura, evapotranspiração real e máxima e deficiência hídrica da Carta Climática disponibilizada pela SEPLAN-TO. Todos os dados de clima foram determinados a partir das 18 estações meteorológicas e pluviométricas, sendo 02 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e 16 da Agência Nacional de Águas (ANA) e CPRM, em um período de 30 anos (1990 - 2019).

Figura 34- Fluxograma da elaboração do mapa de zonas de aptidão hídrica



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a elaboração do mapa de zonas de aptidão hídrica e climática foram classificadas as zonas por aptidão quanto ao uso da irrigação e as condições hídricas e climáticas, com as 4 classificações segundo as condições de clima e deficiência hídrica. O Quadro 6 demonstra como a classificação quanto a aptidão de uma cultura face às necessidades térmicas e hídricas.

Quadro 6- Classificação por zonas de aptidão hídrica

| Classificação                   | Descrição   |
|---------------------------------|---|
| Apta                            | Áreas com condições térmicas e hídricas favoráveis                                  |
| Apta com irrigação complementar | Áreas com condições térmicas e hídricas favoráveis, porém com eventual de irrigação |
| Apta com irrigação obrigatória  | Áreas com condições térmicas e hídricas não muito favoráveis                        |
| Alta restrição                  | Áreas com condições térmicas e hídricas não favoráveis com risco hídrico eminente   |

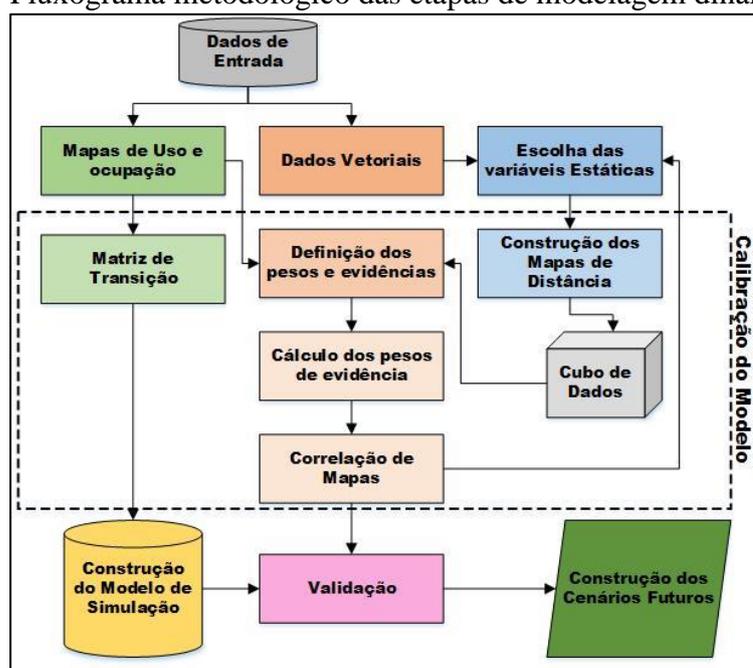
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

### 5.5 Modelagem dinâmica de uso e ocupação da terra para a construção de cenários futuros

As mudanças de uso da terra ocorridas na AEG-01 são significativamente relacionadas aos projetos governamentais de desenvolvimento regional descritos no capítulo 2, e o entendimento desta dinâmica pretérita é primordial para a construção de cenários futuros.

Dessa forma, a mesma base de dados que foi usada no mapeamento do uso e ocupação da AEG-01 para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2019 foi utilizada na modelagem dinâmica para cenários futuros, que foi elaborada em quatro etapas principais, conforme fluxograma apresentado na Figura 35

Figura 35- Fluxograma metodológico das etapas de modelagem dinâmica



Fonte: Elaborado pelo autor

Em sua primeira etapa foi preparado os dados de entrada; na segunda fase, calibração do modelo com definição dos parâmetros; na terceira fase procedeu-se a construção do modelo de simulação e validação; e na quarta fase a obtenção dos cenários futuros.

### **5.5.1 Sistematização dos dados de entrada**

Os dados de entrada do modelo contemplam os mapas temáticos de uso e ocupação da terra (variáveis dinâmicas), como as formações florestais, pastagem, áreas urbanas, água e outras lavouras, conforme descrito no item 5.2.1, e; as variáveis estáticas, como os dados de declividade (imagem SRTM) e vetores da base cartográfica transformados em formatos matriciais, como a rede hidrográfica. Todos os mapas de variáveis dinâmicas e estáticas foram convertidos para o mesmo sistema de projeção e resolução espacial, com igual número de linhas e colunas.

Os dados de entrada foram então manipulados no software DinamicaEGO (Environment for Geoprocessing Objects), que foi usado para as análises das transformações ocorridas e posteriormente a elaboração de cenários futuros.

A condição ora proposta é identificar onde houve a mudança de classe de mapeamento e qual foi esta mudança. Como resultado, foram obtidos mapas que subsidiaram as etapas qualitativas do trabalho. A intersecção dos mapas foi realizada par a par, sendo 1985 e 2000, 2000 e 2010, 2010 e 2019.

### **5.5.2 Matriz de Transição – Calibração do modelo**

A calibração do modelo foi realizada em duas etapas, sendo a primeira o cálculo das matrizes de transição, e a segunda a determinação dos pesos de evidência. Nesta etapa foram elaboradas as matrizes de transição para analisar as mudanças ocorridas no uso e cobertura do solo no período de 2010 a 2019.

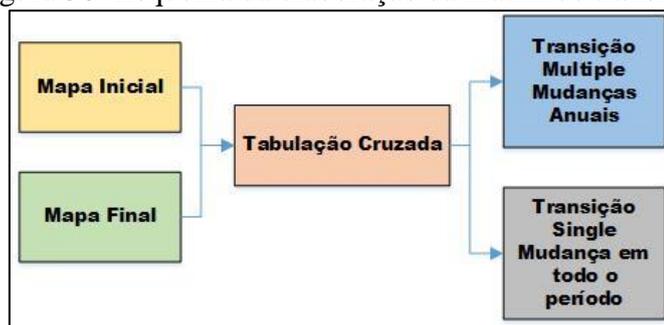
Para a criação da matriz de transição foi usado o método de tabulação cruzada, onde é realizada a detecção e quantificação de mudanças em cada célula/pixel. Para isso foram usados os recortes de imagens em espaços temporais distintos gerando a matriz de transição para o período analisado. A matriz de transição recebe como dados de entrada os mapas de uso inicial e final de cada período.

O software DinâmicaEGO gera duas matrizes para cada período. A matriz de passo único (*single step matrix*) representa as mudanças ocorridas durante todo o período

analisado e a matriz de passos múltiplos (*multiple step matrix*) corresponde às mudanças que ocorreram em uma unidade de tempo, ou seja, em um ano.

As taxas de transição são calculadas por meio do algoritmo *Determine Transition Matrix*, que executa uma tabulação cruzada entre as classes temáticas dos mapas de uso e cobertura do solo nos anos estudados (Figura 36). O resultado é uma tabela com valores percentuais que correspondem as transformações ocorridas no período

Figura 36- Esquema da elaboração da matriz de transição

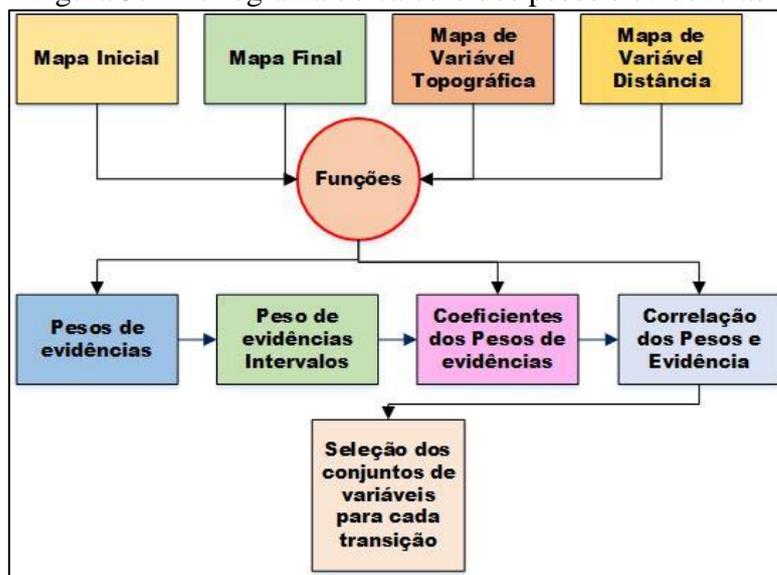


Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.5.3 Definição dos Pesos e evidências – Calibração do modelo

A figura 37 mostra o fluxograma metodológico do cálculo dos pesos de evidência das variáveis explicativas e a determinação da correlação entre pares de variáveis, como requisito para a seleção definitiva de variáveis do modelo de simulação.

Figura 37- Fluxograma do cálculo dos pesos e evidências



Fonte: próprio autor

Nesta etapa primeiramente foi definido os intervalos para a derivação dos pesos de evidência, que são calculados pelo algoritmo *Determine Weights of Evidence Ranges*. Os dados de entrada são mapas de uso e ocupação de diferentes intervalos de tempo

(inicial-final) e mapas de distância obtidos através do mapa de variável topográfica (Declividade) e variável de distância (drenagem).

No DinâmicaEGO os mapas de uso e ocupação inicial e final e declividade são dispostos em camadas (cubo de dados), enquanto os mapas da variável de distância são produzidos pela função *Calc to Distance Map*, gerando um mapa de distância entre as células de cada classe de um mapa. O resultado é um arquivo esqueleto dos pesos e evidências que será usado como dado de entrada para determinação dos cálculos dos *coeficientes* dos pesos e evidências, estabelecendo as melhores faixas de distância.

Este arquivo foi utilizado juntamente com o cubo raster e os mapas inicial e final para o cálculo desses coeficientes, por meio do algoritmo *Determine Weights of Evidence Coefficients*. Os arquivos com os pesos são empregados para produzir os mapas de probabilidade de transição, que serão utilizados nas simulações.

Para avaliar a existência de dependência ou associação entre diferentes variáveis de dois mapas, o sistema DinamicaEGO emprega diferentes métodos, sendo aqui utilizado o Índice de Cramer (calculado pelo algoritmo *Weights of Evidence Correlation*), que avalia a dependência ou associação entre duas variáveis, operando com valores reais e percentuais e avaliam a associação ou dependência espacial entre pares de variáveis utilizadas para explicar uma mesma transição de uso e cobertura da terra pela tabulação cruzada de dois mapas (Soares-Filho et al., 2009).

Os índices variam de zero a um, sendo que as variáveis são independentes quando seu valor é igual a zero e completamente dependentes quando igual a um. Quanto maior for o valor do coeficiente, maior é a dependência entre as variáveis. O cálculo da correlação foi realizado utilizando algoritmo *Weights of Evidence Correlation*. Considerados apenas os resultados com valores de correlação maiores que 0,5.

Tabela 7- Valores de índice de Cramer calculado pelo modelo

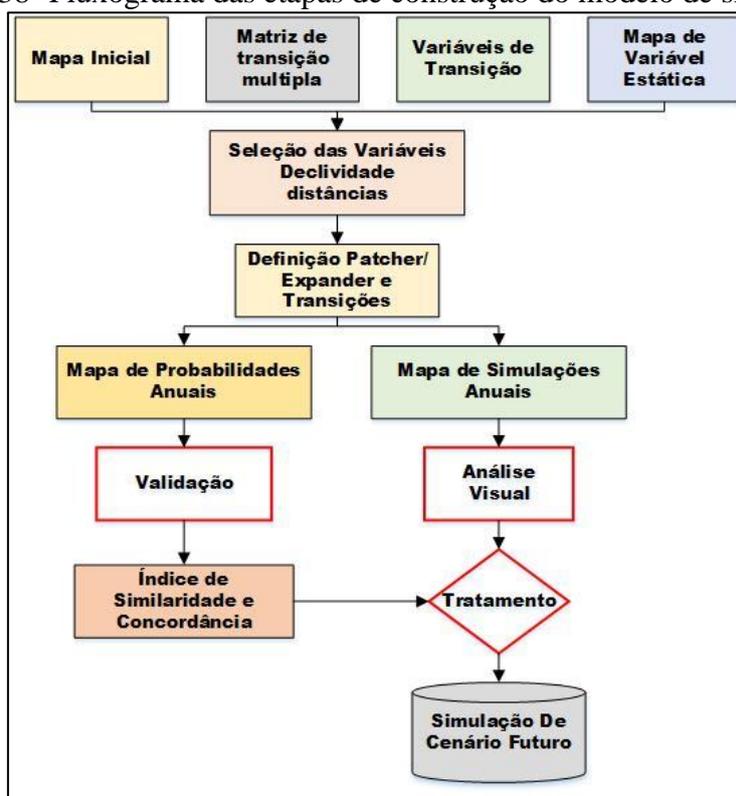
| Transição                            | Índice Cramer |
|--------------------------------------|---------------|
| Formação Florestal – Pastagem        | 2,19          |
| Pastagem - Formação Florestal        | 0,53          |
| Outras Lavouras - Pastagem           | 1,51          |
| Outras Lavouras - Formação Florestal | 1,99          |

Com base nos pesos de evidências foram definidas as variáveis mais sensíveis ao modelo para cada transição: classes de usos, declividade, distâncias da hidrografia

### 5.5.4 Construção do Modelo de Simulação – Validação

Concluído o processo de calibração, passou-se à construção do modelo de simulação futuro, para um intervalo de 10 anos (2029), os dados de entrada foram: O mapa de uso e ocupação da terra inicial, correspondente ao ano de 2019; os mapas de variáveis (*cubo raster*); o arquivo contendo os coeficientes dos pesos de evidência; e a matriz de transição de múltiplos passos. A Figura 38 mostra o fluxograma das etapas de construção do modelo de simulação.

Figura 38- Fluxograma das etapas de construção do modelo de simulação



Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor

A construção do modelo de simulação tem como fundamento a produção dos padrões espaciais de mudanças nas transições do uso e ocupação da terra. Para tanto, os algoritmos *Patcher* e *Expander* do DinâmicaEGO calculam as transições ocorridas, sendo responsáveis pelo surgimento de novas manchas e pela contração de manchas de células de cada classe, respectivamente.

As definições desses dois parâmetros são necessárias para a execução do modelo, que produzirá como saída mapas anuais de probabilidade para cada transição observada e as simulações anuais de uso e ocupação da terra.

Para a validação do modelo de simulação, foi utilizado o algoritmo *Cal Similarity of Differences* que compreende na elaboração de modelos de diferença e de similaridade.

Esse método aplica a teoria de lógica fuzzy, adaptada de Hagen (2003), considerando tanto a incerteza da localização quanto a incerteza da categoria. Os dados de entrada são os mapas de uso e ocupação da terra inicial, 2010; uso real, 2019; e final simulado, 2019. O tamanho das janelas de vizinhança trabalhadas foram de 1X1, 3x3, 5X5 e de 11x11 pixel.

O mapa de simulação anual foi comparado ao mapa real de uso e ocupação, primeiramente pela análise visual e, em seguida, por valores de similaridade, até alcançar valores aceitáveis de similaridade, que variam de 0 a 1, sendo adotado o valor de 0,5 para a presente pesquisa, conforme Ximenes et al. (2008).

Com os padrões de mudança validados foi simulada a interação de 10 anos, assim o cenário simulado corresponde ao uso e ocupação da terra para o ano de 2029.

## **5.6 Elaboração de cenário propositivo e avaliação das tendências da fragilidade ambiental e zonas de aptidão agrícola e climática**

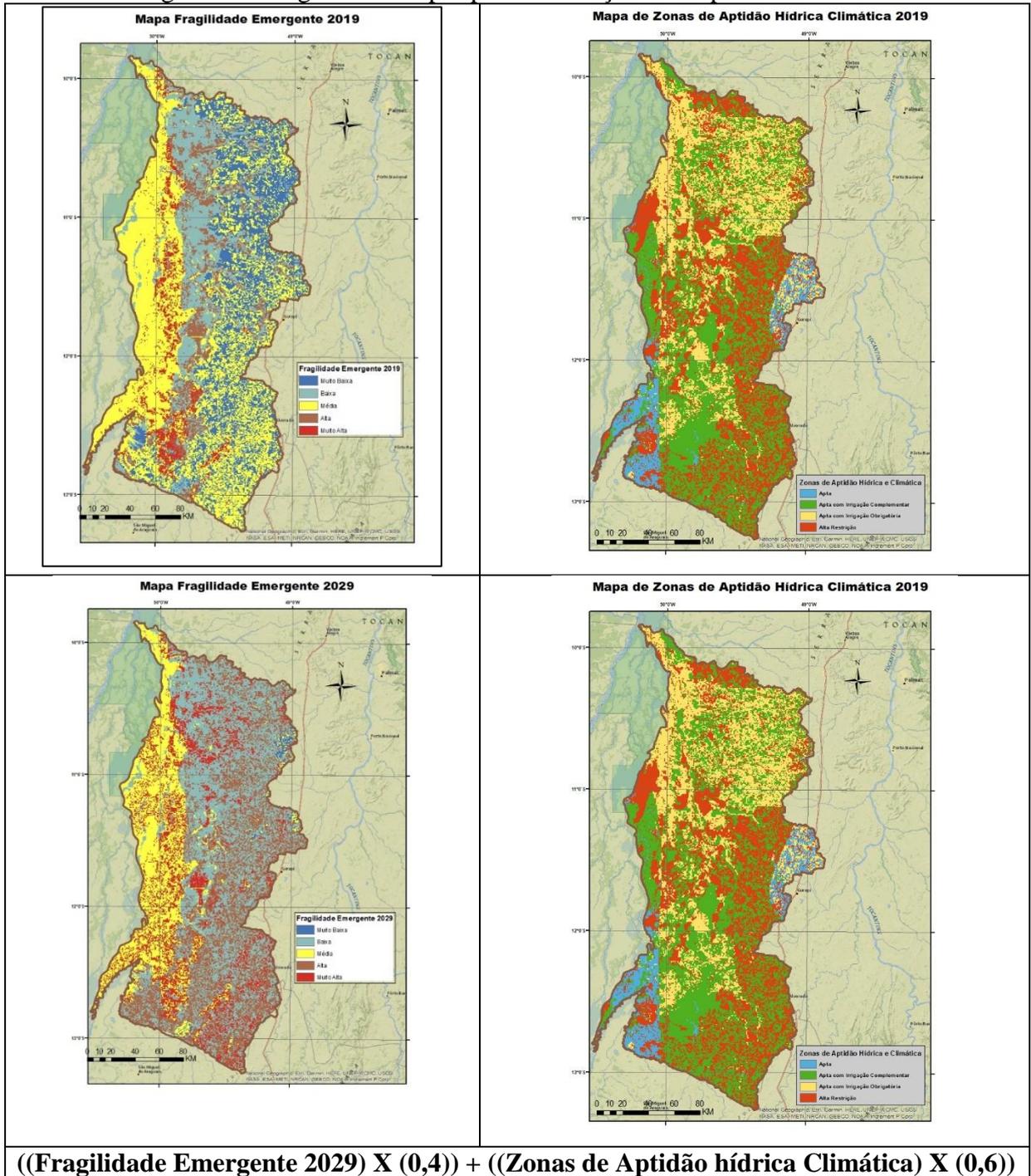
Para a etapa de elaboração de cenários propositivos, foram integrados na análise as tendências da fragilidade ambiental e as zonas de aptidão hídrica e climática. Os cenários futuros ou tendenciais são constituídos da interação das mudanças ocorridas no meio natural e os seus componentes antrópicos, prevista para os próximos 10 anos.

Assim sendo, foram inteirados os mapas de fragilidade ambiental emergente para o ano de 2019 e 2029, cuja metodologia de elaboração está descrita no item 5.2.4 e o mapa de aptidão hídrica e climática, conforme descrito no item 5.4.

As zonas de aptidão hídrica e climática foram determinadas através da sobreposição ponderada e análise multicriterial, considerando a fragilidade ambiental emergente (ponderação 0,4) e as zonas de aptidão hídrica e climática (ponderação 0,6) como fatores de influência para as zonas de aptidão de expansão do cultivo agrícola. (Figura 39). Utilizando o software *ArcGis 10.3* → *ArcMap<sup>TM</sup>* → *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Overlay* → *WeightedOverlay*.

Foram considerados 4 níveis de classes de restrição para a produção agrícola na AEG-01, com variação de classes (Baixa, Média, Alta e Muito Alta).

Figura 39 - Álgebra de mapas para elaboração de mapa síntese



## **6. RESULTADOS**

No presente capítulo serão apresentados os resultados das etapas de análise da evolução e dinâmica do uso e ocupação da terra na AEG-01 entre os anos de 1985, 2000, 2010 e 2019, a avaliação dos padrões e impactos ambientais da expansão das atividades agrícolas na área, e a aplicação da modelagem dinâmica na elaboração de cenário futuro de uso da terra para o ano de 2029.

Para validação dos resultados obtidos na modelagem do cenário futuro foram adotados os parâmetros de quantidade de mudança, ou seja, a comparação das taxas de mudança entre a projeção simulada e a imagem real, bem como, a alocação de mudança que compara os locais onde ocorrem as transformações no uso da terra na simulação com as imagens de origem do MapBiomas.

Para avaliação da tendência do avanço da atividade agrícola na AEG-01 foi elaborado um cenário propositivo, considerando as fragilidades ambientais e as zonas de restrição hídrica e climática.

Ao avaliar essas tendências foi estabelecida diretrizes para um reordenamento territorial com recomendações quanto as zonas de restrição e a produção agrícola.

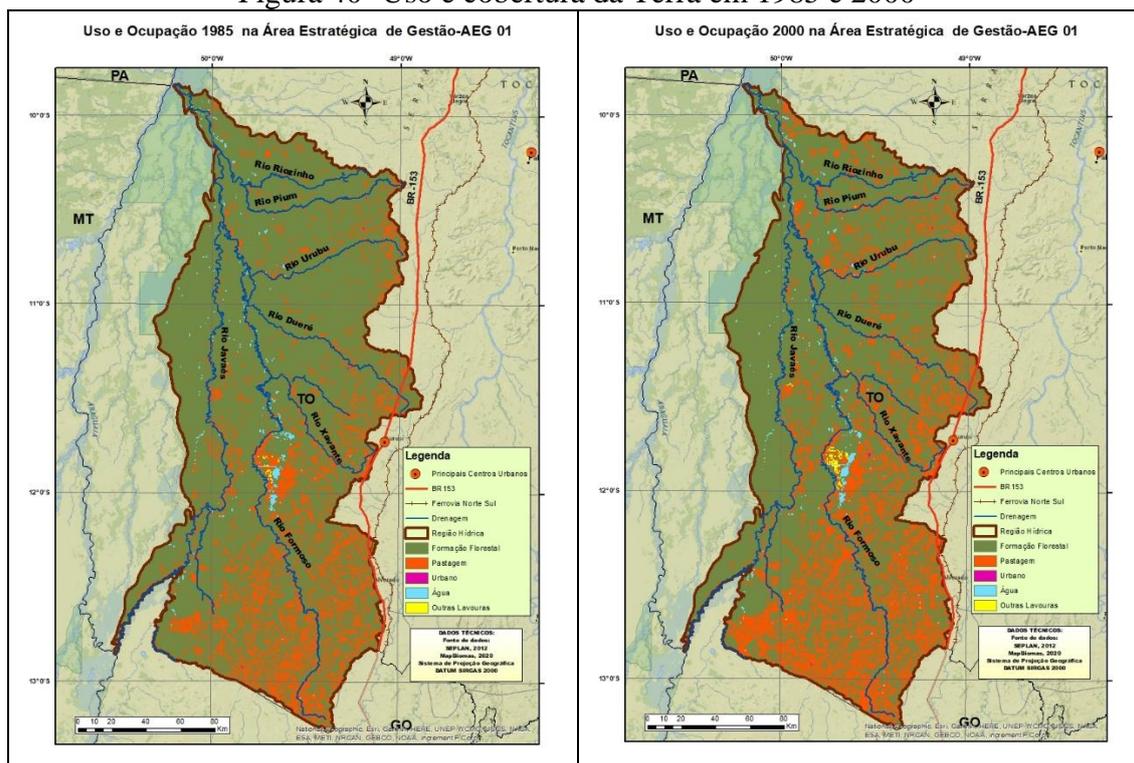
### **6.1 Uso e ocupação da terra em 1985, 2000, 2010 e 2019**

No período de 34 anos de ocupação da AEG-01 ocorreram mudanças substanciais na região de estudo. No ano de 1985 a área ainda estava em território goiano, e tinha como principal atividade econômica a criação de gado, ocupando as terras em uso para a pastagem. A agricultura ainda era eminente, com a implantação do DIRF (Distrito de irrigação do Rio Formoso), conforme discutido no Capítulo 3. Porém ainda não era tão evidente as transformações advindas do Projeto Rio Formoso, datado do início da década de 1980.

#### **6.1.1 Mudanças de Uso e Ocupação da Terra de 1985 a 2000**

As mudanças de uso e ocupação no período de 1985 e 2000 podem ser visualizadas na Figura 40 e Tabela 8.

Figura 40- Uso e cobertura da Terra em 1985 e 2000



Fonte: MapBiomias – Elaborado pelo autor

Tabela 8- comparação em áreas de classes de uso 1985 e 2000.

| Classes de Uso e Ocupação da terra | 1985      |       | 2000      |       | Variação |
|------------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|----------|
|                                    | Área (Ha) | %     | Área (Ha) | %     | %        |
| Formação Florestal                 | 3.164.066 | 83%   | 2.868.833 | 75%   | - 9%     |
| Pastagem                           | 621.061   | 16%   | 909.263   | 24%   | 46%      |
| Outras lavouras                    | 1.798     | 0,1%  | 7.003     | 0,2%  | 289%     |
| Águas Continentais                 | 33.000    | 1%    | 33.778    | 1%    | 2.3%     |
| Urbano                             | 382       | 0,01% | 1.207     | 0,03% | 215%     |

Fonte: Elaborado pelo autor

A classe “formação florestal” foi a única que apresentou redução de área, com uma taxa negativa de 9%, passando de 3.164.066 para 2.868.833 hectares. A área de cultivo agrícola, denominada como “outras lavouras”, apresentou maior taxa de crescimento do período com 289%, passando de 621.061 para 909.263 hectares. Em seguida a classe “pecuária” aumentou em 288.202 hectares, taxa de variação de 46%.

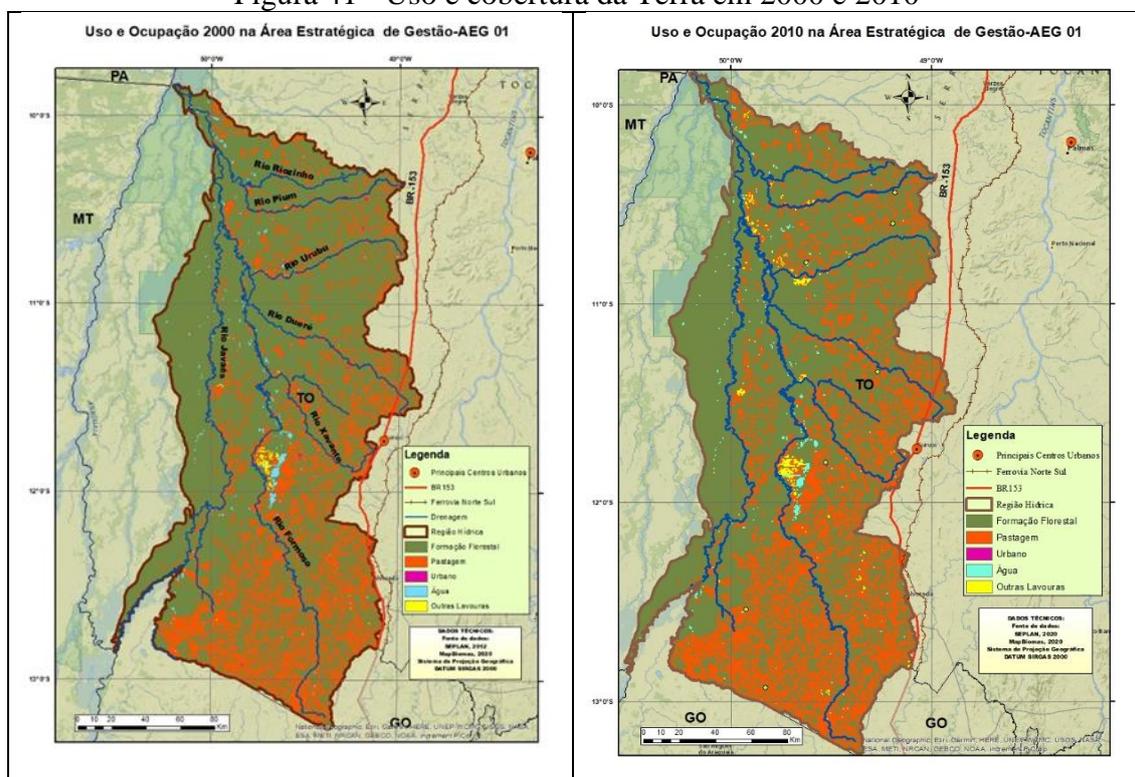
Grande parte da área de “formação florestal” foi transformada em “outras lavouras” e “pastagem”. A área urbana apresentou um aumento de 215 % passando de 382 para 1.207 hectares, sendo essa maior variação observada em todo o período de análise, ou seja, entre 1985 a 2019.

A classe “águas continentais tiveram pouca alteração de suas áreas, com uma variação positiva nesse período devido à construção de diques e reservatórios dos sistemas de irrigação

### 6.1.2 Mudanças de Uso e Ocupação da Terra de 2000 a 2010

A dinâmica de evolução das classes temáticas durante os anos de 2000 e 2010 encontra-se detalhada na Figura 41 e Tabela 9. Assim como observado na análise anterior, houve uma redução na classe “formação florestal” e aumento de área de “pastagem” e “outras lavouras”.

Figura 41 - Uso e cobertura da Terra em 2000 e 2010



Fonte: Próprio autor

Tabela 9- Comparação em áreas de classes de uso 2000 e 2010

| Classes de Uso e Ocupação da terra | 2000      |       | 2010      |       | Variação |
|------------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|----------|
|                                    | Área (Ha) | %     | Área (Ha) | %     |          |
| Formação Florestal                 | 2.868.833 | 75%   | 2.670.146 | 70%   | - 6%     |
| Pastagem                           | 909.263   | 24%   | 1.093.035 | 29%   | 20%      |
| Outras lavouras                    | 7.003     | 0,2%  | 22.905    | 1%    | 227%     |
| Águas Continentais                 | 33.778    | 1%    | 31.785    | 0,8%  | -6%      |
| Urbano                             | 1.207     | 0,03% | 1.647     | 0,04% | 36,4%    |

Fonte: Elaborado pelo autor

A redução na área de “formação florestal” foi cerca de 198.687 hectares, representando uma perda de 6%. Já a área de “pastagem” passou de 909.263 para 1.093.035 hectares, 20% de acréscimo.

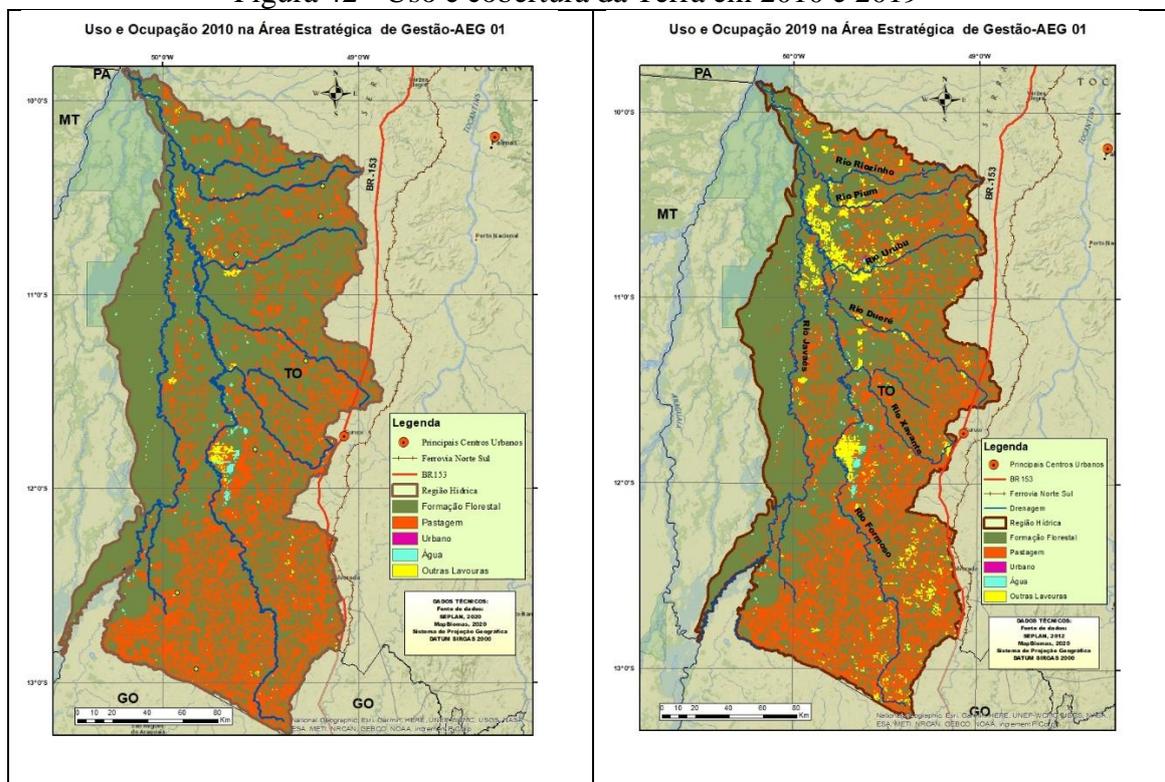
A classe “outras lavouras” teve a maior taxa variação de área durante o período de análise, sendo seu aumento de 227%, com incremento de 183.772 hectares de área. A classe “águas continentais” tiveram pouca alteração de suas áreas, com uma variação negativa nesse período

A área urbana continuou apresentando aumento de 34,4% no período, seguindo a média da taxa de urbanização dos municípios brasileiros é de 1,4%. Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão são os municípios que tiveram maior aumento na sua área urbana.

### 6.1.3 Mudanças de Uso e Ocupação da Terra de 2010 a 2019

A evolução do uso e ocupação durante os anos de 2010 e 2019 são apresentados na Figura 42 e Tabela 10. Assim como observado nos anos anteriores, houve uma redução na classe “formação florestal” e aumento de área de “pastagem” e “outras lavouras”.

Figura 42 - Uso e cobertura da Terra em 2010 e 2019



Fonte: MapBiomias – Elaborado pelo autor

Tabela 10- Comparação em áreas de classes de uso 2010 e 2019

| Classes de Uso e<br>Ocupação da<br>terra | 2010      |       | 2019      |       | Variação |
|--|-----------|-------|-----------|-------|----------|
|  | Área (Ha) | %     | Área (Ha) | %     | %        |
| Formação Florestal                       | 2.670.146 | 70%   | 2.386.669 | 63%   | - 10     |
| Pastagem                                 | 1.093.035 | 29%   | 1.241.178 | 33%   | 13       |
| Outras lavouras                          | 22.905    | 1%    | 153.558   | 4%    | 570      |
| Águas<br>Continentais                    | 31.785    | 0,8%  | 31.673    | 1%    | -0,3     |
| Urbano                                   | 1.647     | 0,04% | 1.963     | 0,05% | 19       |

Fonte: Elaborado pelo autor

A redução na área de “formação florestal” foi cerca de 283.477 hectares, representando uma de perda de 10%. Já a área de “pastagem” passou de 1.093.035 para 1.241.178 hectares, sendo 13% de acréscimo. A classe “outras lavouras” teve a maior taxa variação de área durante o período de análise, sendo seu aumento de 570%, com incremento de 130.653 hectares de área. A classe “águas continentais tiveram pouca alteração de suas áreas, com uma variação negativa nesse período.

Para avaliar os padrões de fragilidade ambiental da área em estudo a partir dos padrões de dinâmica dos seus componentes, foram gerados os mapas de fragilidade ambiental emergente e potencial.

## 6.2 Análise da fragilidade Ambiental

Os diferentes padrões de fragilidade são representados através dos componentes estáveis e instáveis dos recursos naturais, podendo ser classificados como padrões de fragilidade potencial quando consideramos as variáveis naturais: solos, relevo e clima; e fragilidade emergente quando consideramos os componentes instáveis como o uso da terra integrado a fragilidade potencial.

Neste estudo a fragilidade ambiental refere-se à suscetibilidade do ambiente às pressões antrópicas, relacionando-se a vulnerabilidade natural a processos erosivos e sua potencialização devido à influência antrópica, por meio de informações de uso e cobertura da terra.

### 6.2.1 Fragilidade ambiental da AEG-01 em 2019

A fragilidade ambiental potencial da AEG-01 é apresentada na Figura 43 De acordo com Ross (1994), foram atribuídos pesos para as variáveis, solos, declividade, precipitação e relevo. Foram definidas 5 classes de fragilidade potencial, tendo as duas primeiras classes “Muito baixa” e “Baixa” 1,45% e 45%, respectivamente, da área total da AEG-01, predominando na porção leste, onde a erodibilidade e a declividade são moderadas.

A fragilidade “Média” representa 26% da área e pode ser observada de norte a sul ao longo da AEG-01, na planície de inundação com declividade inferior a 5%, os solos predominantes são gleisolos e plintosolos.

A fragilidade “Alta” ocorre em 27% da área, na parte oeste, e coincide a área do PARNA e Terras Indígenas, as classes de erodibilidade ao longo das matas ciliares é considerado alto, devido as características de solos pouco desenvolvidos e rasos.

A classe “Muito Alta” recobre apenas 1%, e apresenta declividades maiores que 20% com ocorrência de solos pouco desenvolvidos, como cambisolos e neosolos, sendo assim mais suscetíveis aos processos erosivos e ocorre na parte mais ao sul da AEG-01.

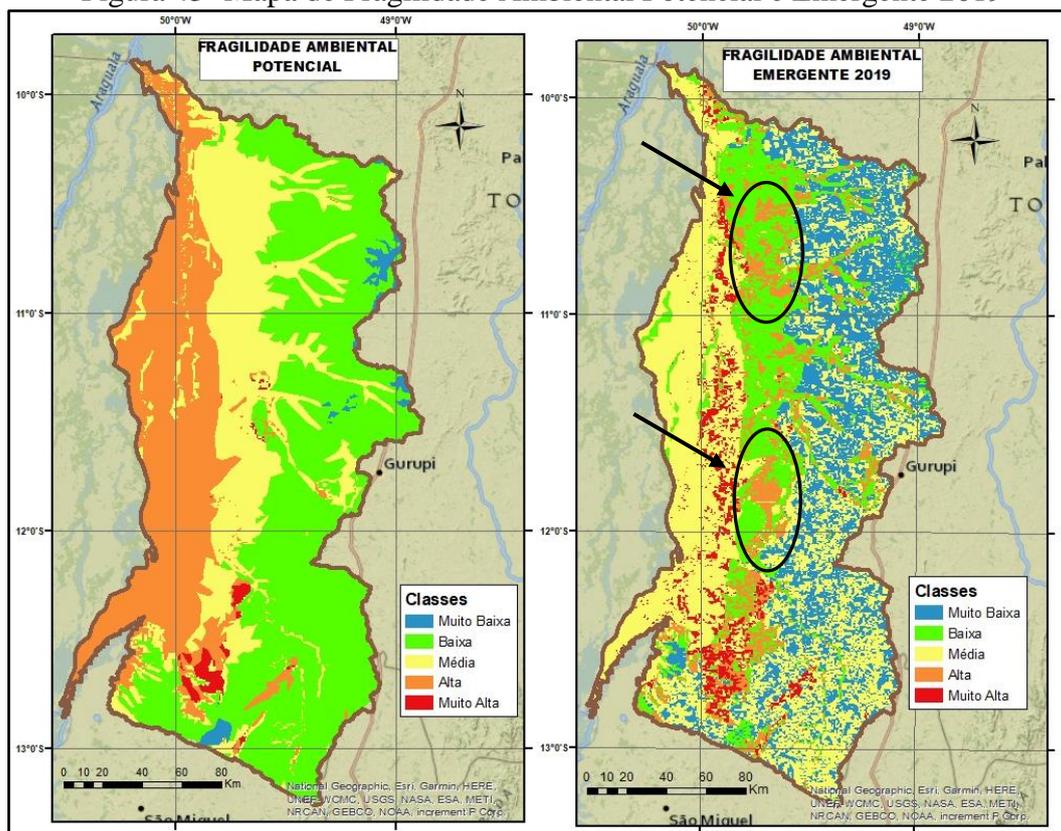
A fragilidade ambiental emergente da AEG-01 para o ano de 2019 apresentada na Figura 43, e é resultado da integração do mapa de fragilidade ambiental potencial e o mapa de uso e ocupação da terra de 2019. As áreas ocupadas por cultivo agrícola estão destacadas no mapa de fragilidade ambiental emergente.

A classe de fragilidade “Alta” e ‘Muito Alta”, correspondente a 9% e 5% respectivamente da área, ocorre principalmente nas áreas de cultivo agrícola, que sofreram mais perdas de formações florestais e estão na planície de inundação, causando mais instabilidade nos solos e avançando sobre as áreas de fragilidade “Baixa”, que representam 18% da área.

A classe “Média” corresponde a 44% da área, predomina no PARNA na porção oeste. Embora apresente formação florestal preservada, quando analisada no mapa de uso e ocupação é possível identificar manchas de pastagens, na porção do PARNA, que alteram a fragilidade para a classe “Muito Alta”, com a combinação de planície de inundação e solos pouco desenvolvidos.

A classe “Muito baixa” representa 2,4% de área em sua maioria encontra-se na parte leste, fora da planície, em solos mais profundos e com baixa fragilidade potencial.

Figura 43- Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente 2019



Fonte: Elaborado Pelo autor

### 6.2.3 Fragilidade ambiental da AEG-01 para o cenário futuro 2029

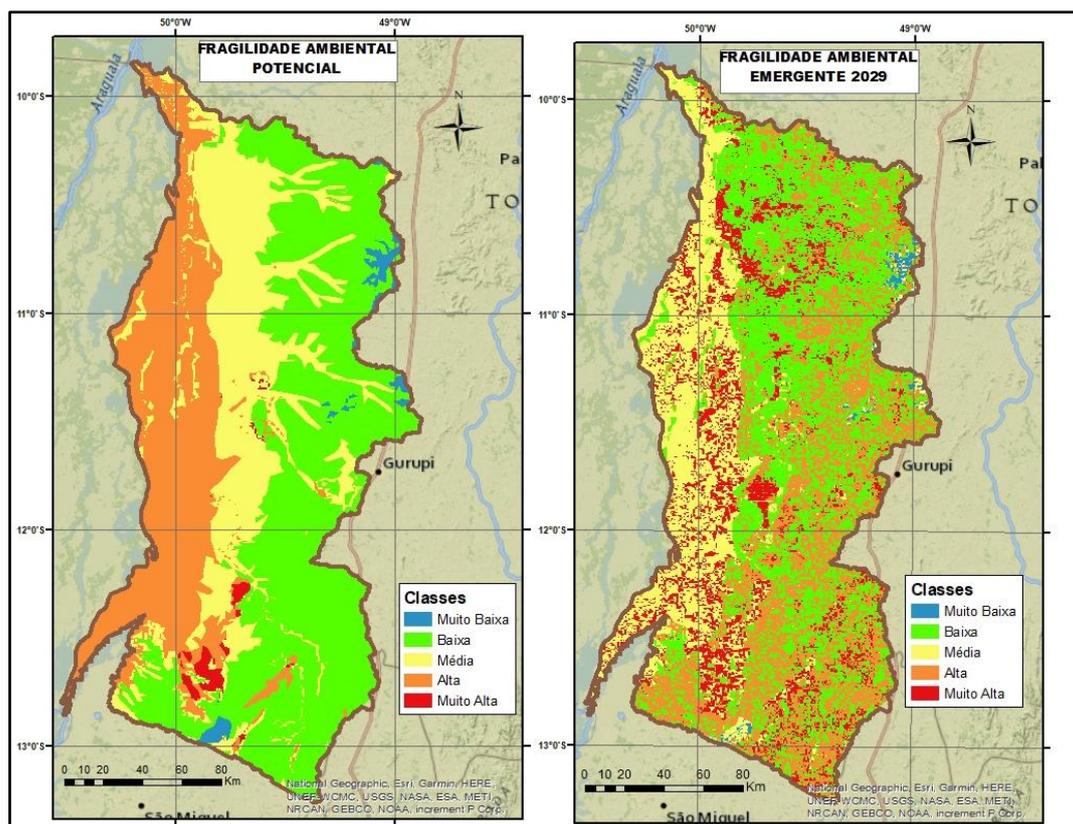
Ao considerar o cenário futuro, a tendência do uso e ocupação para 2029 e a fragilidade potencial da área, o mapa da Fragilidade Ambiental Emergente (Figura 44) apresenta a transformação das classes identificadas em 2019 (Tabela 11), com destaque para a transformação da classe “Alta” em 2019 com 9% passando para 27% em 2029, uma variação de mais de 180%.

Tabela 11- Percentual de classes nos anos de 2019 e 2029

| Classes     | Fragilidade Emergente 2019 (%) | Fragilidade Emergente 2029 (%) |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Muito Baixa | 2,4%                           | 0,68%                          |
| Baixa       | 18%                            | 37%                            |
| Média       | 44%                            | 21%                            |
| Alta        | 9%                             | 27%                            |
| Muito Alta  | 5%                             | 14%                            |

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 44- Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente 2029



Fonte: Elaborado Pelo autor

### 6.3 Zonas de Aptidão hídrica e climática para a produção agrícola da AEG-01

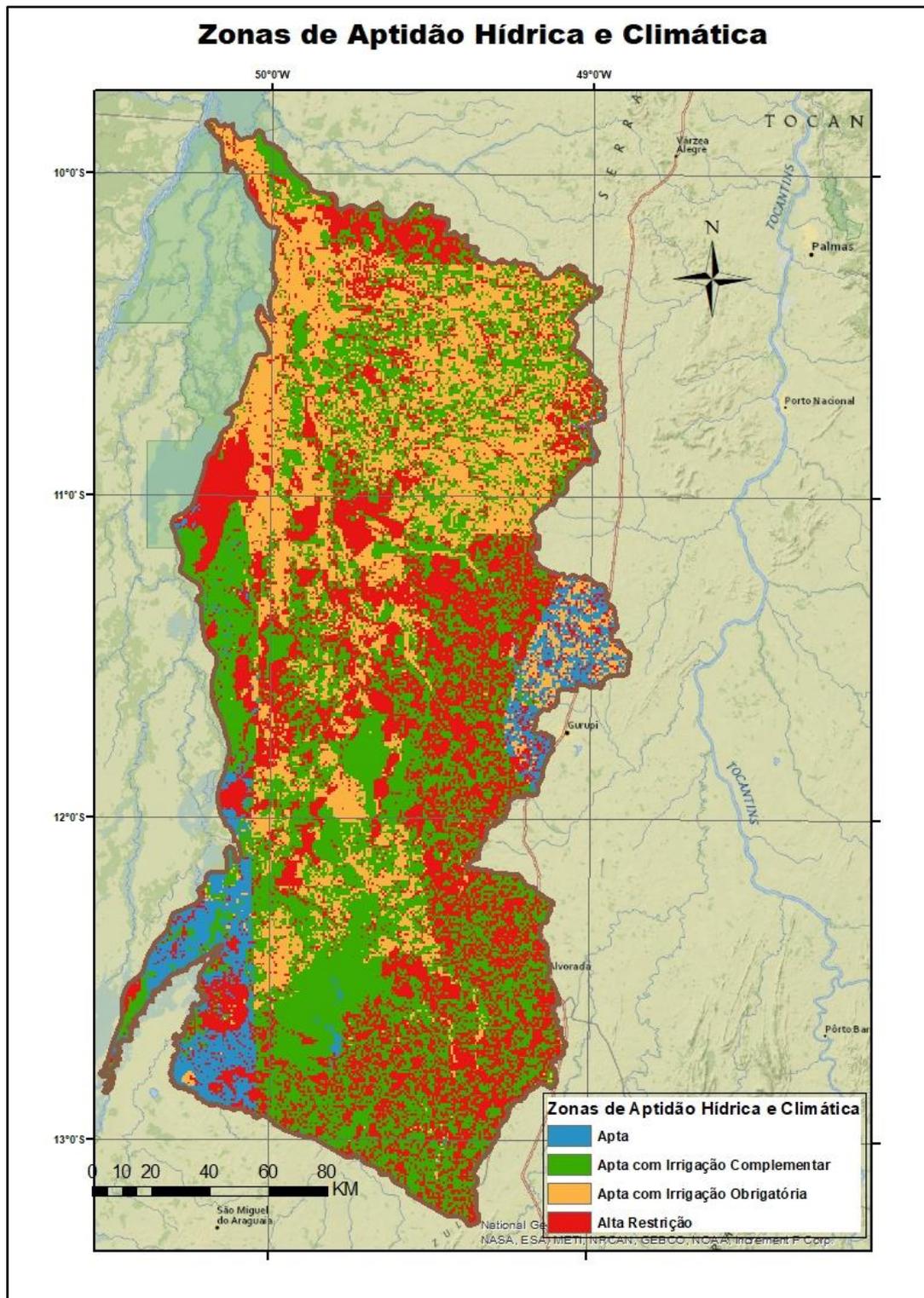
O uso intensivo pela agropecuária e as altas demandas de uso da água pela irrigação, atrelado as alterações na distribuição de chuvas, tem comprometido a produção agrícola na AEG 01.

Combinando as exigências térmicas e hídricas das culturas selecionadas para o estudo, foi elaborado o mapa de zonas de aptidão hídrica e climáticas, conforme mostra a Figura 45.

Os terrenos aptos ao cultivo sem restrições hídricas representam apenas 6% da área. A maioria da área se encontra em condições aptas para o cultivo agrícola, porém com necessidade de irrigação, sendo que 39% com irrigação complementar, 24% com irrigação obrigatória. O mapa mostra também que 31% da área foi classificada com alta restrição tanto climática quanto hídrica, em função da necessidade das culturas hoje cultivadas na AEG-01.

Diante desse cenário, ressalta-se também a importância de compreender os processos das mudanças de uso e ocupação da terra.

Figura 45- Mapa das Zonas de aptidão Hídrica e Climática



Os modelos de dinâmica ambiental são utilizados na avaliação dessas mudanças, que evoluem no tempo, e ocorrem de forma natural ou induzida pela ação antrópica, buscando replicar os possíveis caminhos da evolução da paisagem e, assim, possibilitar a avaliação de suas implicações futuras (Soares-Filho *et al.*, 2002).

## **6.4 Modelagem Dinâmica da mudança de uso e ocupação no período de 1985, 2000, 2010 e 2019**

Com o propósito de avaliar a expansão do cultivo agrícola, do ponto de vista da fragilidade ambiental e das zonas de aptidão hídrica e climática, foram modelados os cenários prospectivos de uso e ocupação da terra, na AEG-01, indicando a tendência espacial das transformações ocorridas no uso da terra.

A partir das mudanças de uso em relação área total de 1985 a 2019, apresentadas no item 6.1, foi determinada a matriz de transição, e modelados os cenários futuros.

Segundo Soares-Filho (2009) a matriz de transição descreve um sistema de mudança em intervalos de tempo, analisando a dinâmica da paisagem pela forma como as classes de uso e ocupação variam em tempos distintos, sendo assim, capaz de distribuir a quantidade de mudanças por toda a paisagem representando o primeiro componente da função de mudança.

### **6.4.1 Cálculo da Matrix de transição – Calibração do Modelo**

A transição de um determinado uso para outro de 1985 a 2000 (15 anos) é apresentada na Tabela 12, e trata de duas matrizes de transição: a matriz de transição anual, que permite analisar as mudanças ocorridas entre as classes a cada passo de tempo, e; a matriz de transição global, o acumulado do período (Tabela 12). As taxas de transição para cada ano variaram de 1% a 3%. O que resultou em mudanças significativas nas classes de “outras lavouras”, “formações florestais” e “pastagem”.

Observa-se na Tabela 12 que a classe onde ocorre maiores taxas de transição é a “pastagem”, que ao mesmo tempo que perde espaço para a classe “outras lavouras” ocupa áreas da classe “formação florestal”. A ocupação pela monocultura de grãos na região ocorreu no início da década de 1980, refletindo nas transformações das pastagens em lavouras (53%) aqui identificadas.

Tabela 12- Percentuais de transformação de classes

| Transformações Classes no período 1985-2000 |                    | %  |
|---|--------------------|----|
| Formação Florestal                          | Pastagem           | 13 |
| Formação Florestal                          | Outras lavouras    | 7  |
| Pastagem                                    | Formação Florestal | 18 |
| Pastagem                                    | Outras lavouras    | 53 |
| Águas Continentais                          | Formação Florestal | 14 |
| Águas Continentais                          | Pastagem           | 2  |
| Outras lavouras                             | Pastagem           | 29 |
| Outras lavouras                             | Formação Florestal | 26 |

Fonte: Elaborado pelo autor

De 2000 a 2019, as pastagens retomam algumas áreas, antes ocupadas por formações florestais e outras lavouras, porém, não atingindo taxas superiores a 27% (Tabela 13).

Tabela 13- Percentuais de transformação de classes

| Transformações Classes |                    | 2000-2010 | 2010-2019 |
|------------------------|--------------------|-----------|-----------|
|                        |                    | %         | %         |
| Formação Florestal     | Pastagem           | 10        | 12        |
| Formação Florestal     | Outras lavouras    | 0,3       | 2         |
| Pastagem               | Formação Florestal | 10        | 8         |
| Pastagem               | Outras lavouras    | 1,2       | 8         |
| Águas Continentais     | Formação Florestal | 16        | 11        |
| Águas Continentais     | Pastagem           | 1,3       | 2         |
| Outras lavouras        | Pastagem           | 27        | 5         |
| Outras lavouras        | Formação Florestal | 1         | 1         |

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 6.4.2 Cálculo dos pesos e evidências – Calibração do Modelo

Nesta etapa foram definidos os intervalos ou faixas de distância das variáveis estáticas para cada transição encontrada, incluindo as distâncias até as classes de uso identificadas. A escolha das variáveis levou em consideração a influência dessas sobre as transições observadas, e estão relacionadas empiricamente.

A classe “outras lavouras” está diretamente relacionada com a variável *declividade* e *distância dos rios*, apresentando maior influência nas transições relacionadas a esta classe, contribuindo tanto para a expansão (áreas planas) quanto para a retração (áreas com maior declive).

A distância dos rios também influenciou as simulações das transições da classe “outras culturas” (priorização quanto a irrigação) e na classe “formação florestal” nas áreas de proteção permanente.

Estas variáveis estão empiricamente relacionadas com as transições analisadas. A variável declividade e distância de rios está associada diretamente à classe de uso “outras lavouras”, influenciando na expansão por causa dos projetos de irrigação.

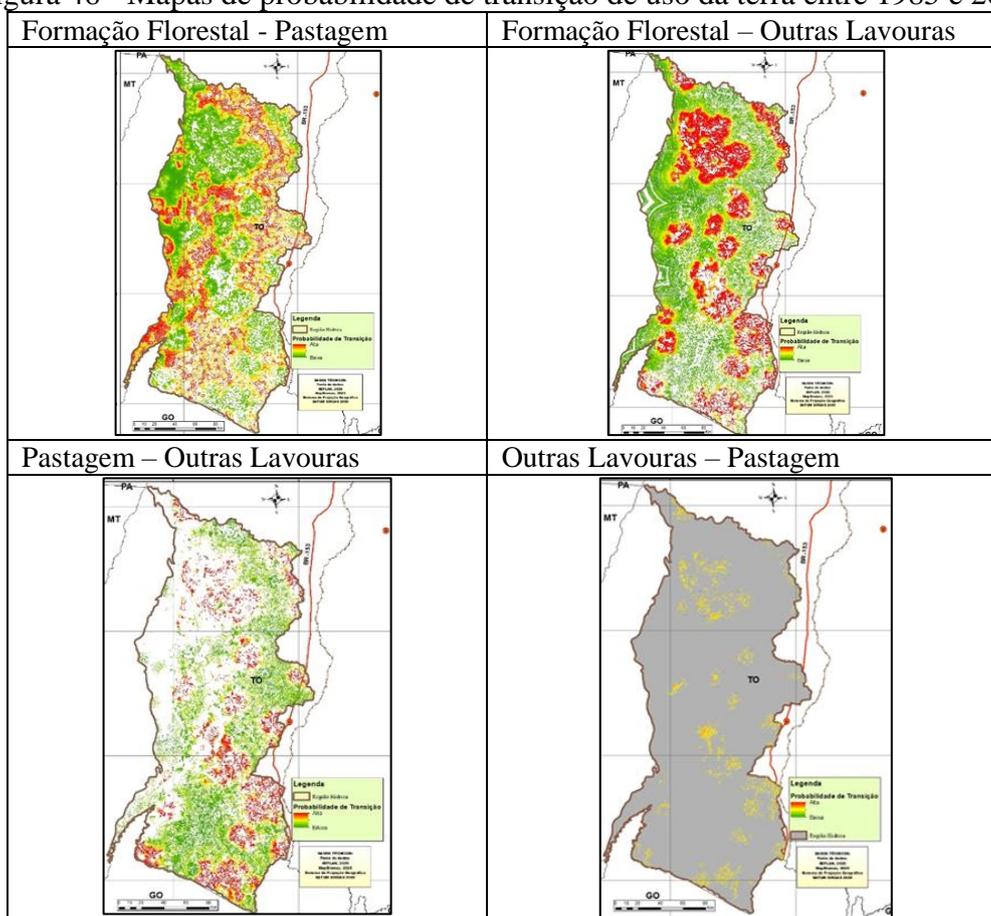
Os testes de avaliação de similaridades não apresentaram nenhum problema, ou seja, valores nulos, o que indica que há similaridade entre as variáveis. Após verificar as relações de dependência entre as classes e a influência delas nas transições, comparando-se o mapa simulado com o mapa final real (uso\_2019), foi elaborado o modelo de simulação de cenário futuro.

### 6.4.3 Construção do Modelo de Simulação e Validação

Para construção dos cenários futuros devemos considerar o diagnóstico das condições pretéritas para simular as alterações futuras incorporando novas condições de contorno, como a aberturas de novas áreas de ocupação, reproduzindo as tendências observadas no passado.

Dessa forma, o primeiro resultado na fase de simulação do uso da terra foram os mapas de probabilidade de transição (Figura 46)

Figura 46 - Mapas de probabilidade de transição de uso da terra entre 1985 e 2019



Fonte: Elaborado pelo autor

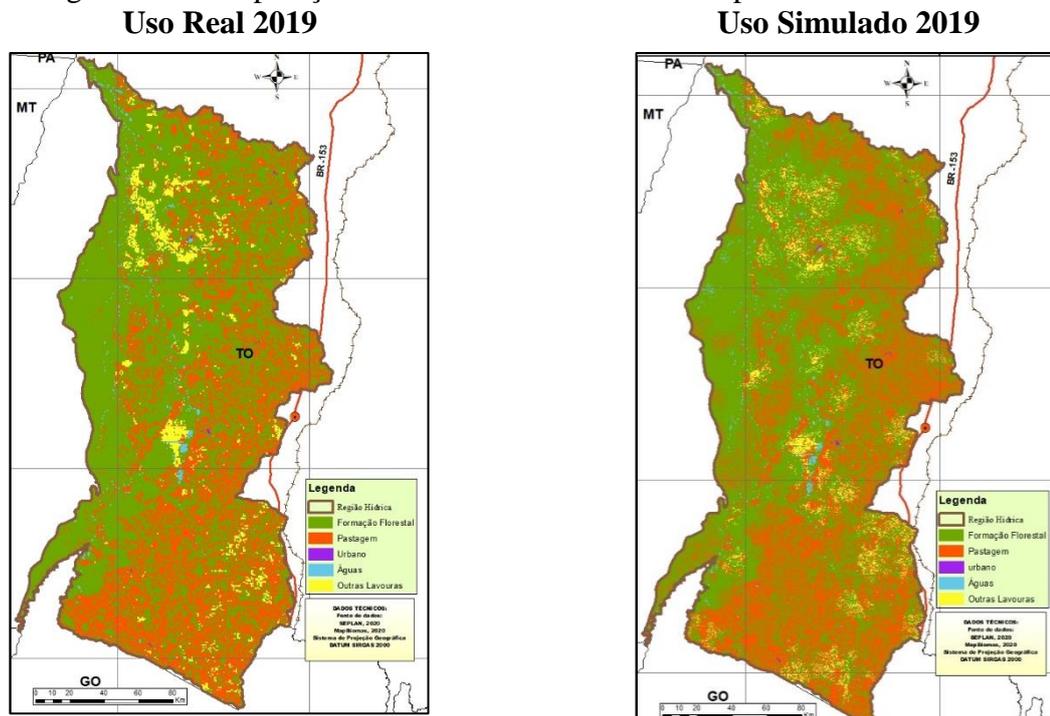
Os mapas apresentados na Figura 47 mostraram áreas com maiores probabilidades de mudança de um uso para o outro, a escala de cores mostra nos tons de amarelo a vermelho as áreas com altas probabilidades de transição e em tons de azul as áreas com baixa probabilidade de transição.

Os mapas de probabilidade de transição das classes “Outras Lavouras” para “Formação Florestal” e “Pastagem” apresentaram baixa probabilidade, com poucos detalhes para ilustração na escala do trabalho.

Além dos mapas de probabilidade espacial de transição foi obtido os mapas de uso simulado para o ano de 2019. Na Figura 47 podemos comparar visualmente as similaridades entre as classes encontradas pelo modelo (mapa de uso simulado) e o mapa de uso real, de 2019.

Porém segundo Trentin (2008), as manchas não são idênticas às dimensões e características do mapa real, visto que a modelagem visa obter tendências e padrões e não a reprodução fiel da realidade. Dessa forma a função *patcher* se mostrou eficiente por buscar a lógica de ocupação, ou seja, a mesma tendência.

Figura 47 - Comparação visual entre o modelo e o mapa de uso real



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 6.4.3.1 Validação do modelo

Na etapa de validação do modelo aplicou-se o método de diferença e similaridade entre os mapas, baseada na lógica *fuzzy*, adaptada de Hagen (2003). Esse método calcula os erros e acertos da modelagem. Esse operador gera índices mínimos e máximos de similaridades, a similaridade varia de 0 a 1, sendo zero baixa similaridade e 1 combinação perfeita.

A tabela 14 apresenta os valores de similaridade entre o mapa de referência e o modelo de simulação dentre as janelas de vizinhança 1x1, 3x3, 5x5 e 11x11, onde foram comparadas células a células, com valores de similaridade mínimo de 52% e máximo de 75%, o que representa uma média de 63,5% de taxa de similaridade. De acordo com Piontekowski *et al.* (2014), valores acima de 50% em janelas de 5x5 indicam resultados satisfatórios, desde que os padrões de distribuição espacial sejam similares, no mapa de referência com o mapa simulado.

Tabela 14- Índices de similaridade entre os mapas de referência e o mapa simulado

| Janela Vizinhança<br>(ColxLin) | Similaridade<br>Min | Similaridade<br>Max |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| 1x1                            | 52%                 | 55%                 |
| 3x3                            | 54%                 | 66%                 |
| 5x5                            | 52%                 | 70%                 |
| 7x7                            | 52%                 | 72%                 |
| 11x11                          | 52%                 | 75%                 |

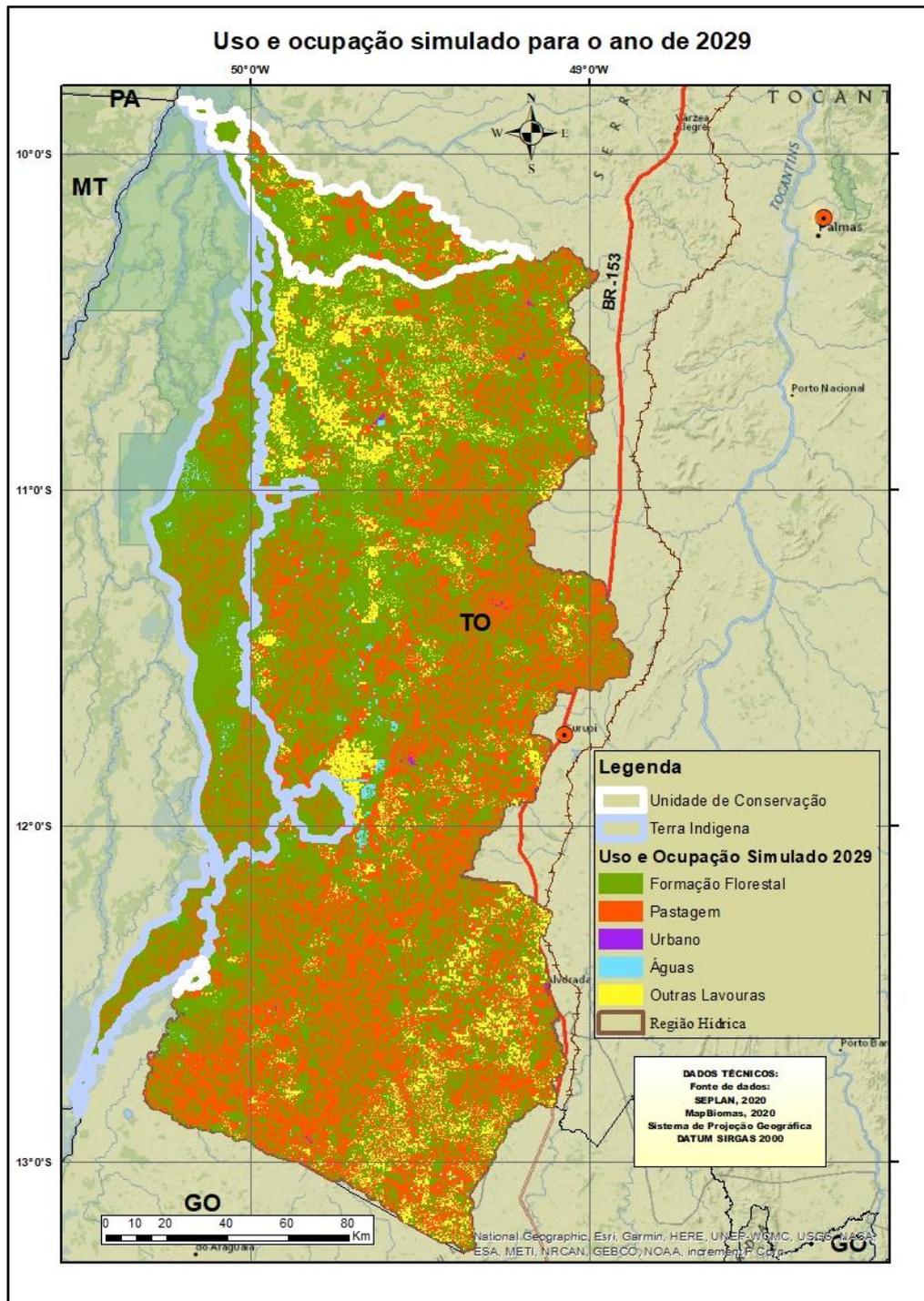
Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se também que o índice de similaridade tende a aumentar à medida que o tamanho da janela aumenta, como nas janelas 5x5, 7x7 e 11x11. Ximenes *et. al* (2008) explica que na medida que aumenta as resoluções os valores de similaridades tendem a saturar, indicando certa insuficiência de avaliação de ajustes entre o mapa de referência e o simulado.

#### 6.4.4 Cenário futuro da atividade agrícola na AEG-01

No que tange a alocação espacial de mudanças nas classes de uso foram utilizadas as funções *expander* e *patcher* do modelo DinâmicaEGO, onde a primeira registra as áreas que foram convertidas e a segunda cria novas áreas de transição, sendo executada 10 vezes, de acordo com o período de simulação de 10 anos (2019 a 2029), o resultado foi o mapa de uso e ocupação para o ano de 2029 (Figura 48)

Figura 48- Cenário Simulado para o ano de 2029



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma nova matriz de transição foi extraída para o período entre 2019 e 2029 (Tabela 15), com o objetivo de quantificar o número total de novas células que transacionarão para a classe “Outras lavouras” nesse horizonte de mudança de uso. Foram desconsiderados nessa análise as classes “Urbano” e “águas” pelo pequeno percentual de mudança encontrado e pela pouca influência nas transições com as outras classes de uso.

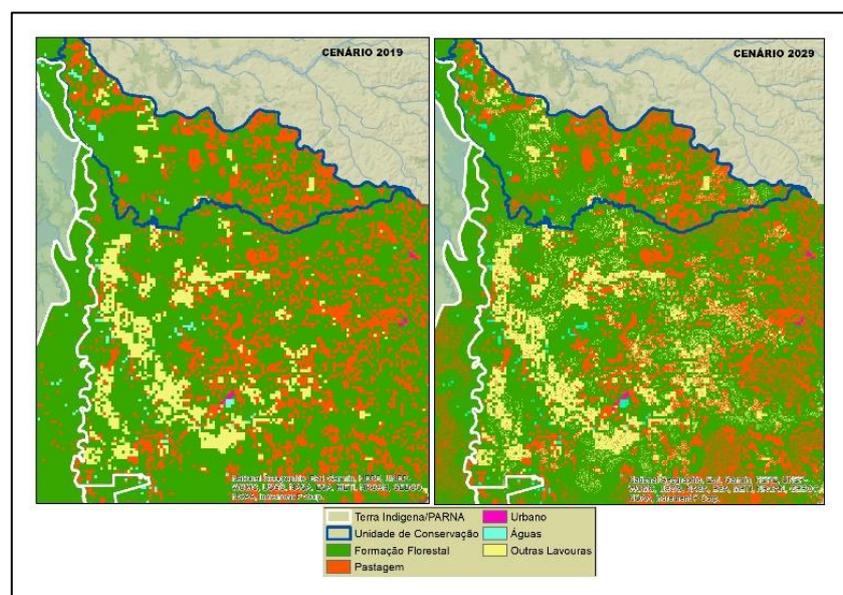
De acordo com a Tabela 15 as maiores taxas de transições ocorrerão entre as classes “Formação Florestal” e “Pastagem”. A transformação de “Formações Florestais” para “Pastagem” e Pastagem para “Outras Lavouras” indicam as mesmas tendências de ocupação na AEG-01, principalmente quando consideramos a dinâmica de transformação a partir de 2010.

Tabela 15- Matriz de Transição no período de 2019 - 2029

| De                 | Para               | Matriz de transição Taxa (%) |           |           |           |
|--------------------|--------------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                    |                    | 2019-2029                    | 2010-2019 | 2000-2010 | 1985-2000 |
| Formação Florestal | Pastagem           | 10,98                        | 12        | 10        | 13        |
| Formação Florestal | Outras Lavouras    | 1,23                         | 2         | 0,3       | 7         |
| Pastagem           | Formação Florestal | 5,03                         | 8         | 10        | 18        |
| Pastagem           | Outras Lavouras    | 8,74                         | 8         | 1,2       | 53        |
| Outras Lavouras    | Formação Florestal | 0,62                         | 1         | 1         | 26        |
| Outras Lavouras    | Pastagem           | 4,66                         | 5         | 27        | 29        |

Considerando que não haja nenhuma medida para evitar a abertura de novas áreas para o cultivo agrícola, a AEG-01 terá o incremento de 115.131 hectares de lavouras e 57.711 hectares de pastagens e uma redução de 243.699 hectares de formações florestais. Essas reduções florestais atingem as Áreas de Proteção Ambiental e o Parque Nacional do Araguaia (PARNA) (Figura 49).

Figura 49 - Comparativo do avanço da atividade agrícola nas unidades de conservação



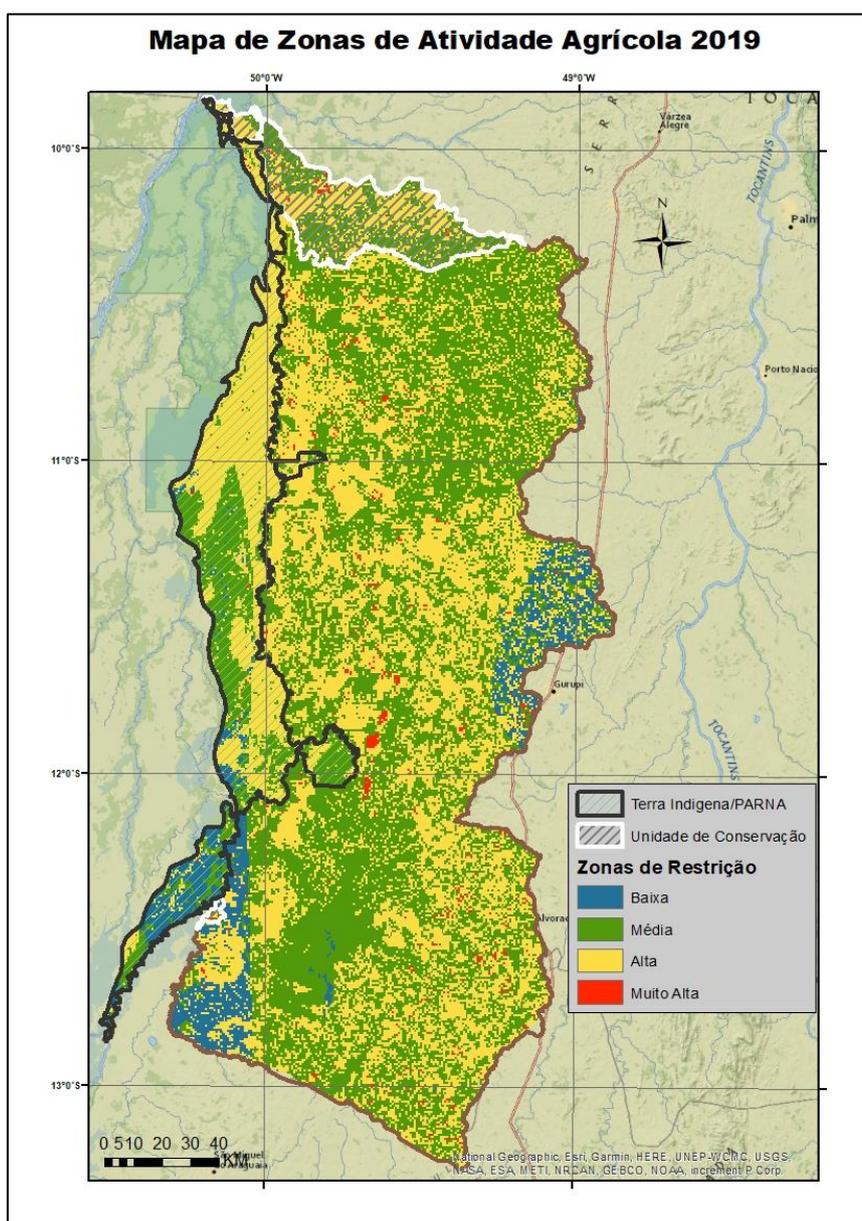
Fonte: Elaborado próprio autor

## 6.5 Cenário propositivo da AEG -01

Com o objetivo de subsidiar as tomadas de decisão para um horizonte temporal de 10 anos e considerando as tendências históricas e o cenário atual, foi descrito o cenário propositivo, compreendendo as variáveis de fragilidade ambiental e zonas de aptidão hídrica e climática, bem como suas tendências no período de análise.

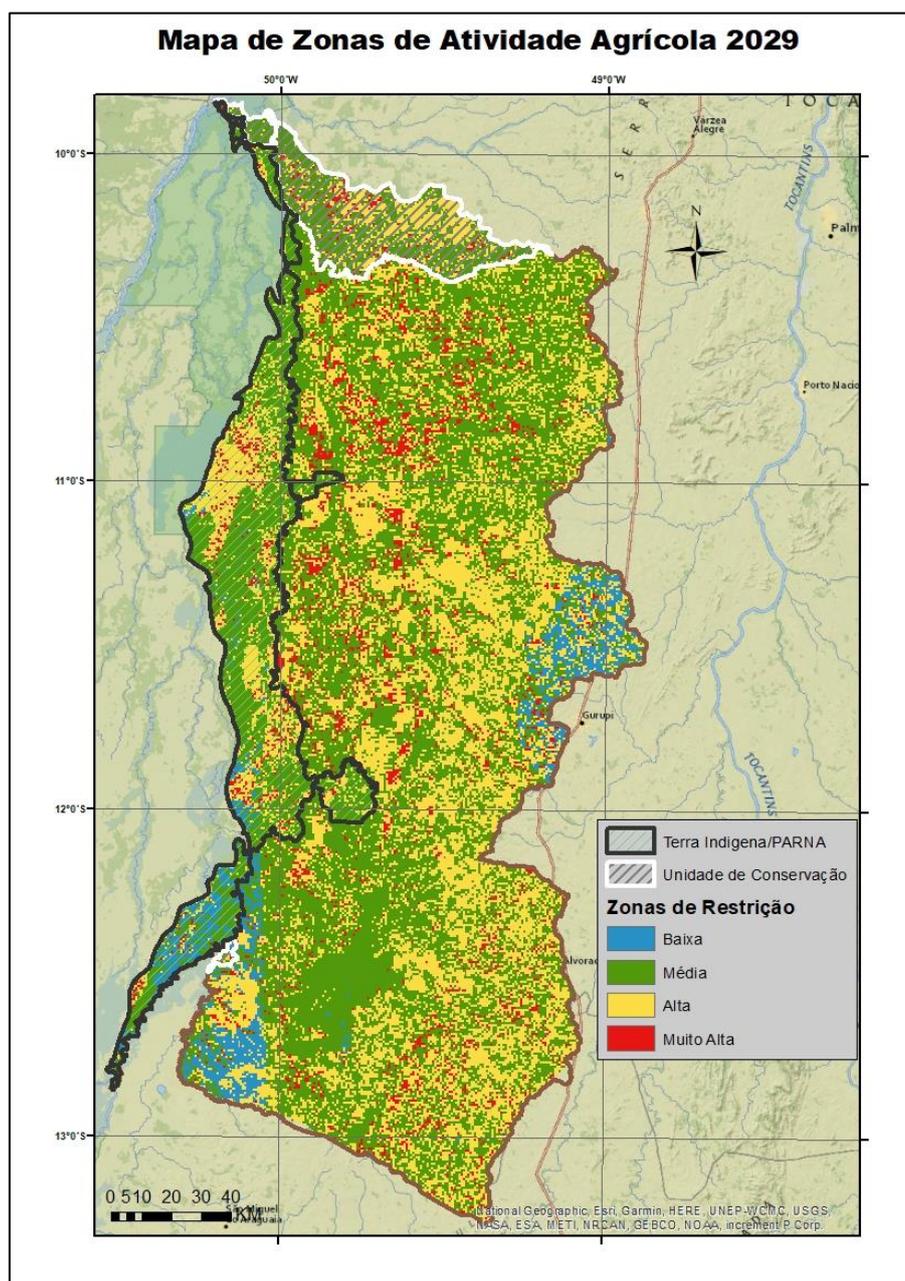
Assim sendo, foi elaborado o Mapa de zonas de aptidão à atividade agrícola da AEG-01 para o ano de 2019 e 2029 (Figura 50 e 51), onde foram classificados, 4 níveis hierárquicos de restrição para a produção, variando de muito alta, alta, média, baixa e muito baixa. As terras indígenas e unidades de conservação são consideradas zonas de restrição legal à atividade agrícola.

Figura 50 - Mapa das zonas de aptidão à Atividade Agrícola



No cenário de 2019, as classes de restrição “Média” e “Alta” correspondem a 48% e 44% respectivamente. Considerando o cenário futuro para 2029 com a expansão da atividade agrícola, nos mesmos padrões de técnicas de irrigação e cultivo da terra, essas mesmas classes passariam para 53% e 36% e a classe “Muito Alta” que em 2019 era de 1% passaria para 6% e a classe “Baixa” de 6% para 4%.

Figura 51 Mapa das zonas de aptidão à Atividade Agrícola



As zonas de alta restrição compreendem áreas mais sensíveis a ocupação do ponto de vista da fragilidade emergente e dos aspectos hídricos e climáticos, caracterizada por apresentarem graus maiores de fragilidade quanto aos processos erosivos e elevados índices de deficiência hídrica e climática. Assim, quanto maiores os níveis de restrição em relação ao uso da terra, maiores são as exigências tecnológica de manejo, uma vez que exigem emprego de mecanização agrícola e sistemas de irrigação.

Diante do exposto, a construção de um cenário propositivo, baseado em previsão de estratégias de desenvolvimento futuro da região exige medidas de gestão territorial, tais como: implantação de sistemas de irrigação mais eficientes, implantação de culturas que exigem menos consumo de água, aprofundamento do zoneamento para uso agrícola e controle e monitoramento dos empreendimentos agrícolas.

## DISCUSSÕES

Conforme demonstradas nos mapeamentos apresentados no Capítulo 6, a dinâmica da evolução das transformações ocorridas durante os anos de 1985 até 2019 mostraram que houve uma significativa redução na formação florestal em detrimento da entrada do agronegócio na região, alterando a paisagem natural e as condições ambientais.

O efeito da migração para a ocupação terras para o cultivo agrícola foi mais expressivo entre os anos de 1985 e 2000, representando mais de 200%, com uma taxa média de urbanização de 1,4%, nos municípios de Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão. Esse fenômeno está diretamente relacionado a agricultura mecanizada (IBGE, 2013), que embora seja responsável pela baixa densidade demográfica da zona rural, ocasiona o crescimento das áreas urbanas nos municípios que servem de apoio para o agronegócio.

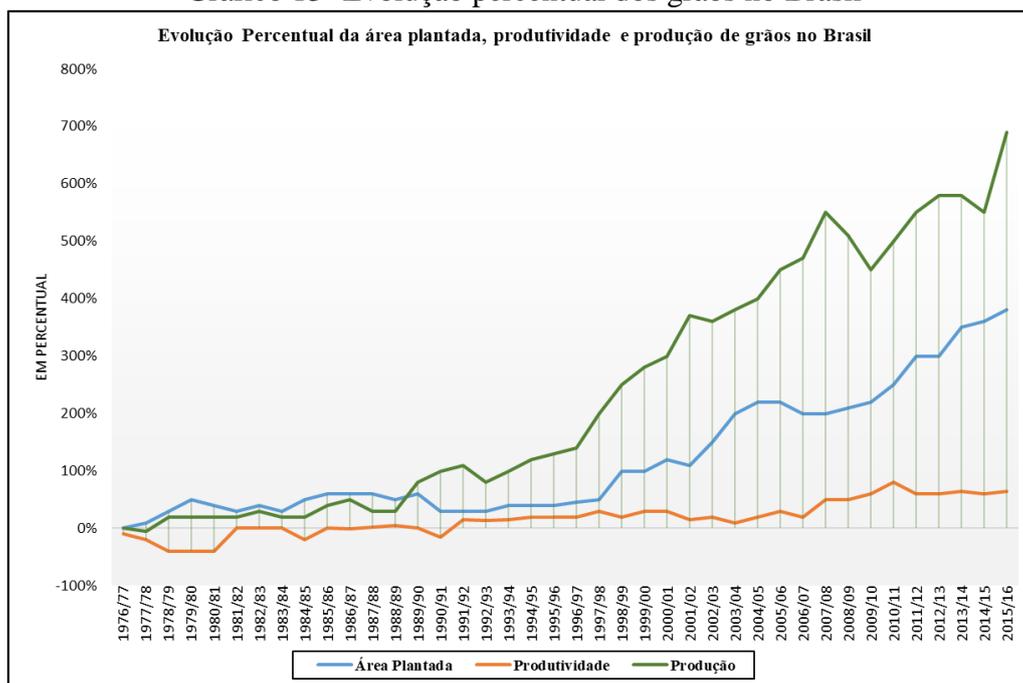
As áreas de Formações Florestais reduziram de 1985 a 2019 em 24% enquanto as pastagem e lavouras aumentaram em 99% a 8.000% respectivamente. Esse aumento seguiu a tendência nacional, como apontado pelos dados da CONAB (2017), que mostram que em quatro décadas a produção brasileira praticamente se multiplicou por 8.

O Gráfico 13 apresenta a comparação entre a área plantada, a produtividade e produção de grãos no Brasil, e mostra que foi a partir da década de 1990 a produção de grãos dispara e entra no mercado internacional, impulsionada pelas políticas macroeconômicas de estabilização e investimentos na mecanização da agricultura.

Além disso, empresas processadoras e pelas Trading.Co que operam no mercado internacional de soja entram no sistema, financiando a produção incentivando o avanço da produção de grãos.

A perda de áreas de floresta pode ser relacionada ao fato de que a maior parte dessa expansão da produção nacional foi em função do aumento da área plantada, uma vez que o aumento da produtividade dos grãos, levou quase 25 anos para elevar o patamar internacional. Um exemplo disto é a soja que entre 1977 até 2000, passou de 1,5 mil kg/ha para 2,5 mil kg/ha (aumento de 66,6%), mas nos últimos 15 anos (2001/02 a 2015/16) ultrapassou os 3 mil kg/ha (aumento de 20%) (CONAB, 2017).

Gráfico 13- Evolução percentual dos grãos no Brasil



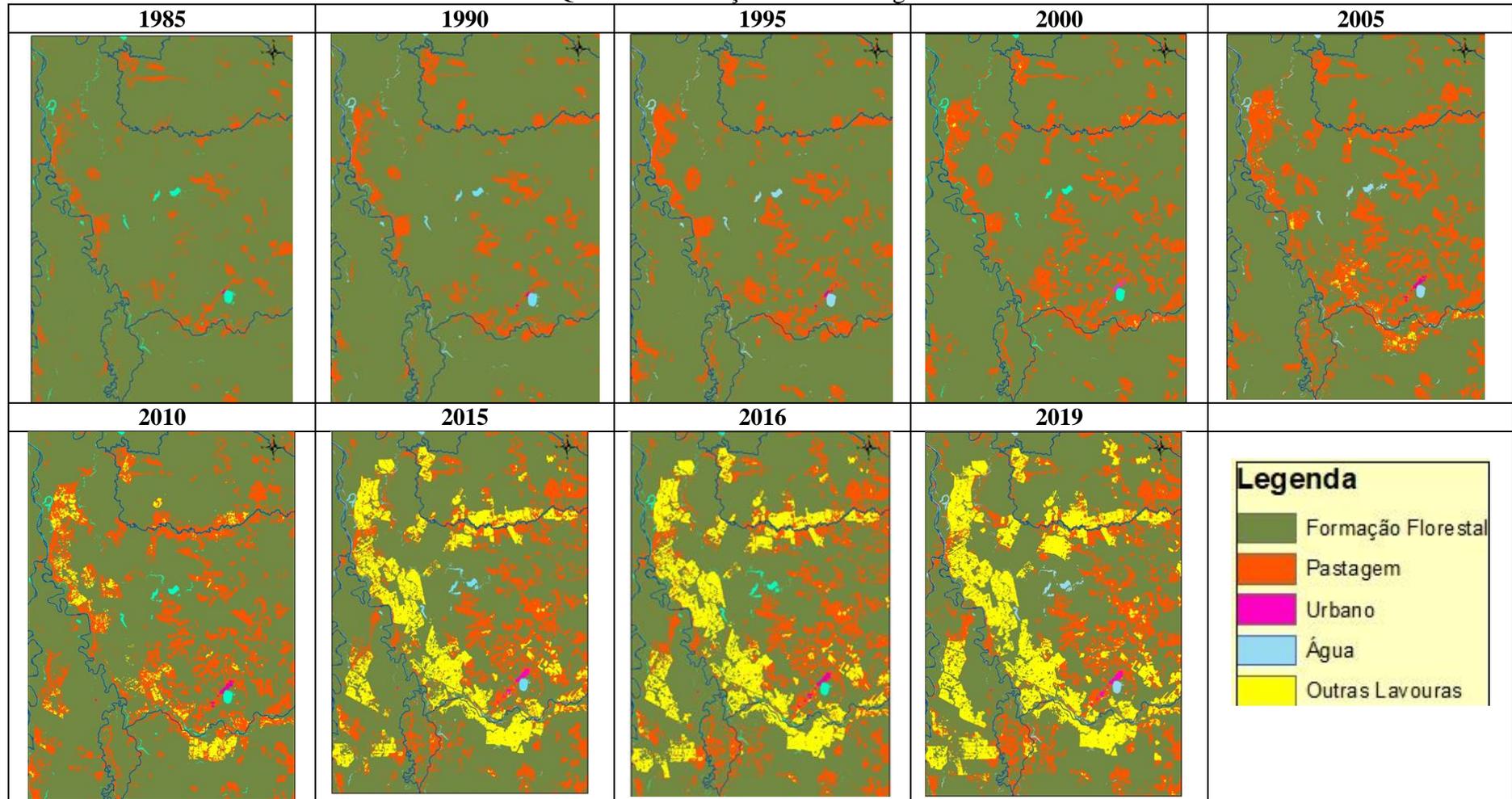
Fonte: CONAB (2017) Elaborado próprio autor

Ao longo dos últimos 20 anos, a maior parte da expansão da produção nacional foi explicada por aumento de área, tanto pela produção de grãos quanto pela pecuária e a AEG-01 acompanha esse mesmo padrão de expansão. No Quadro 7 é possível verificar um expressivo crescimento das classes “Outras lavouras” a partir de 2010. O recorte representa a evolução da produção de grãos no município de Lagoa da Confusão, a jusante do rio Formoso, que em 2010 ganha maior incremento de áreas de cultivo, impulsionados pelo aquecimento do mercado internacional, e a vantagem de uma terceira safra no ano, com a janela do cultivo no vazio sanitário.

Ocorre assim o aumento do plantio da soja para semente, insumo essencial para suportar o incremento da produção de soja no Brasil, baseado principalmente no aumento na área. Nesse cenário a necessidade de sementes de alta qualidade para atender a demanda de produtores nacionais elevou a produção na AEG-01, com a vantagem de uma safra extra, no momento em que nenhuma outra região do país poderia plantar (vazio sanitário).

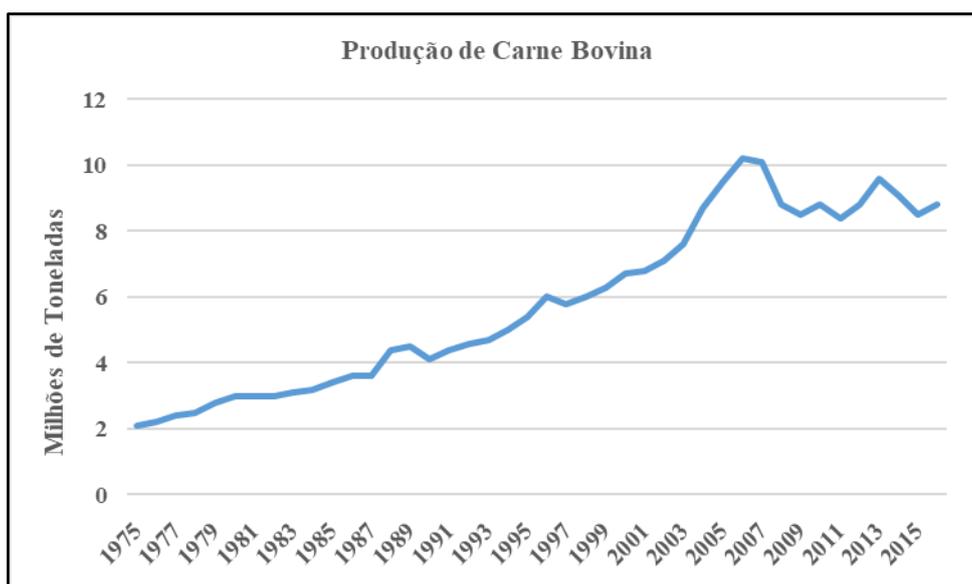
Assim, Estado do Tocantins entra no mercado de produção Soja/Semente, juntamente os Estados do Maranhão e Piauí, oferecendo uma semente de alta qualidade, uma vez que as condições endofoclimáticas da região produzem uma semente livre de fungos, com maior vigor na germinação e desempenho ao longo do ciclo e na produtividade final da lavoura (EMBRAPA, 2017).

Quadro 7- Evolução do cultivo agrícola



Assim como o aumento das áreas de cultivo de grãos na AEG-01 acompanharam o cenário nacional, a pecuária também cresceu em ritmo acelerado (Gráfico 14). Segundo a Embrapa (2017), o número de cabeças de gado bovino no país mais que dobrou nas últimas quatro décadas, e o país figura atualmente como um dos principais atores na produção e no comércio de carne bovina mundial, sendo 2º maior produtor, atrás apenas dos Estados Unidos, e o principal exportador, com quase 2 milhões de toneladas de carne bovina vendidas a outros países em 2017.

Gráfico 14- Produção de Carne Bovina no Brasil



Fonte: Embrapa (<https://www.embrapa.br/en/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>)

Elaborado pelo autor

A perda de áreas de florestas para a pecuária na AEG-01 também acompanha o cenário nacional. No mesmo período, segundo dados do MapBiomias (2019), o país perdeu quase 90 milhões de hectares de florestas, enquanto a área de pastagens aumentou em 86 milhões de hectares.

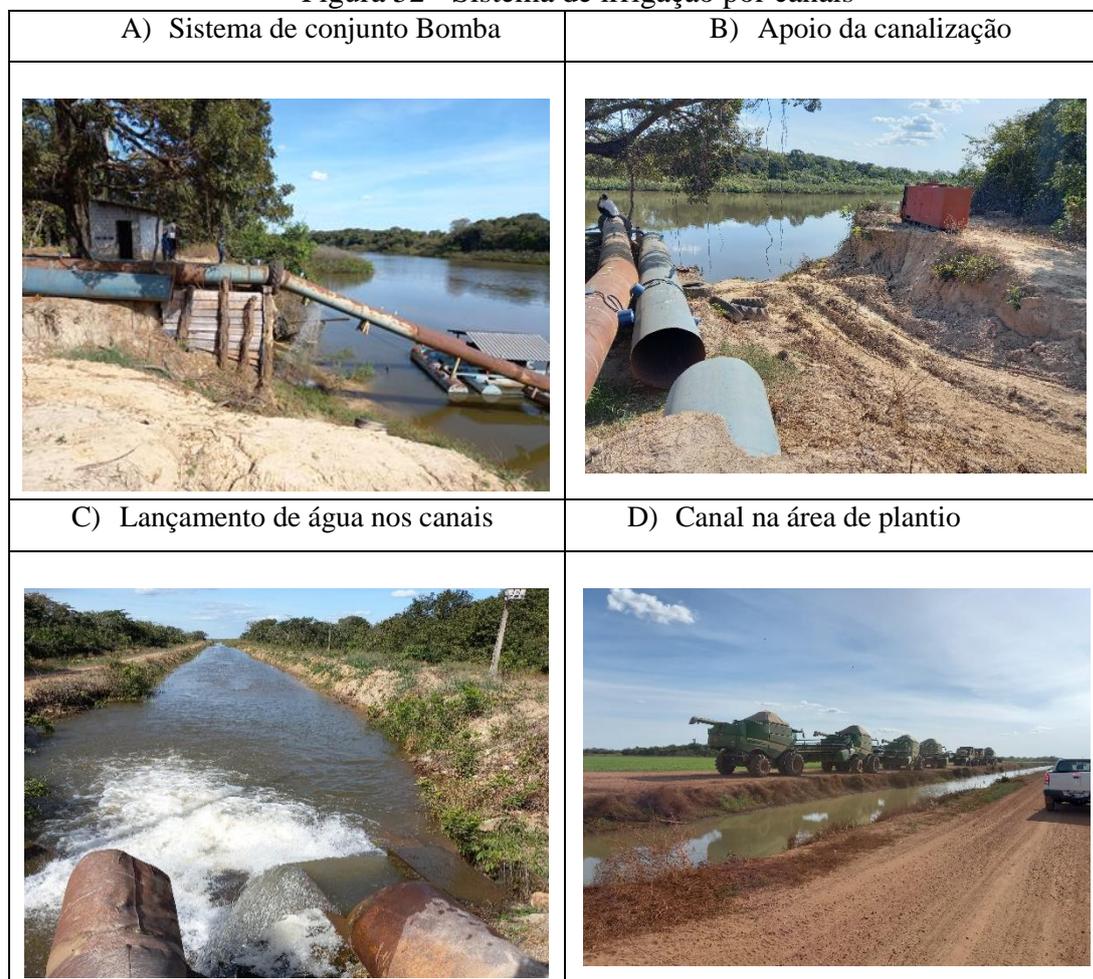
Esta dinâmica é mais pronunciada na Amazônia. Em 2005, havia 45 milhões de hectares de pastagens no bioma. Em 2018, a área de pastagens cresceu para 53 milhões de hectares, a pastagem avança sobre a floresta, e a agricultura sobre a pastagem (MapBiomias, 2019).

Os impactos ambientais na AEG-01 estão diretamente relacionados as suas características físicas. Metade de sua área está localizada em uma planície fluvial, com solos rasos e hidromórficos, terrenos de alta fragilidade ambiental devido a elevada susceptibilidade a processos erosivos e inundações. Além disso, a área é ocupada por

lavouras, onde prevalecem os sistemas de irrigação, aplicação de insumos agrícolas e consequentemente o desmatamento para abertura de novas áreas

Na Figura 52 é ilustrado a sequência do sistema de bombeamento no leito do rio e o lançamento da água nos canais que seguem para os lotes de plantio.

Figura 52 - Sistema de irrigação por canais



Fonte: Acervo fotográfico pessoal

A implantação dos sistemas de irrigação, por canais, com a retirada de água por sistema de bombeamento, são estruturas apoiadas nas margens dos rios, a maioria sem obras de contenção<sup>7</sup> aos processos erosivos e com a retirada da vegetação para a locação dos equipamentos. Além disso foi verificado a ausência de manutenção desses canais, como a limpeza e proteção das bordas, o que prejudica na eficiência do sistema de irrigação, como a diminuição da vazão em função da perda de área dentro do canal.

O uso intensivo de defensivos agrícolas para o controle das pragas; fertilizantes para nutrir os solos e planta; e equipamentos e máquinas, para viabilizar o plantio e o

<sup>7</sup> A maioria das propriedades com sistema de bombeamento não tem estruturas adequadas para a sustentação dos sistemas motor-bomba e canalização, conforme foi verificado em visitas técnicas realizadas in loco.

cultivo, trazem impacto ambiental relacionados à contaminação química de solos e águas e à compactação de solos, a figura 53 mostras como é a deposição das embalagens desses defensivos nos locais de plantio.

A água que entra no sistema é proveniente das chuvas e do sistema de irrigação e, ao entrarem em contato com as plantas e com o solo, dissolve algumas destas substâncias e as percolam pelo solo até atingir as zonas saturadas, afetando a qualidade das águas subterrâneas, a situação é tão alarmante que embora os canais de irrigação tenham área suficiente para a prática da piscicultura, a qualidade da água não é adequada para a criação de peixes. Segundo pesquisa realizada por Guarda (2021), onde foram coletados pontos de amostragem para análise de pesticidas e investigou os níveis de resíduos em diferentes compartimentos ambientais (solo, sedimentos e água) da região, foram encontrados 31 ingredientes ativos de pesticidas de diferentes classes, sendo a substância matriz presente na água o ingrediente *Clozone*, com potencial para contaminação de águas subterrâneas. Essas substâncias podem danificar populações humanas e espécies silvestres, dada a sua classificação toxicológica.

Figura 53 - Deposição de embalagens de defensivos agrícolas utilizados na AEG-01

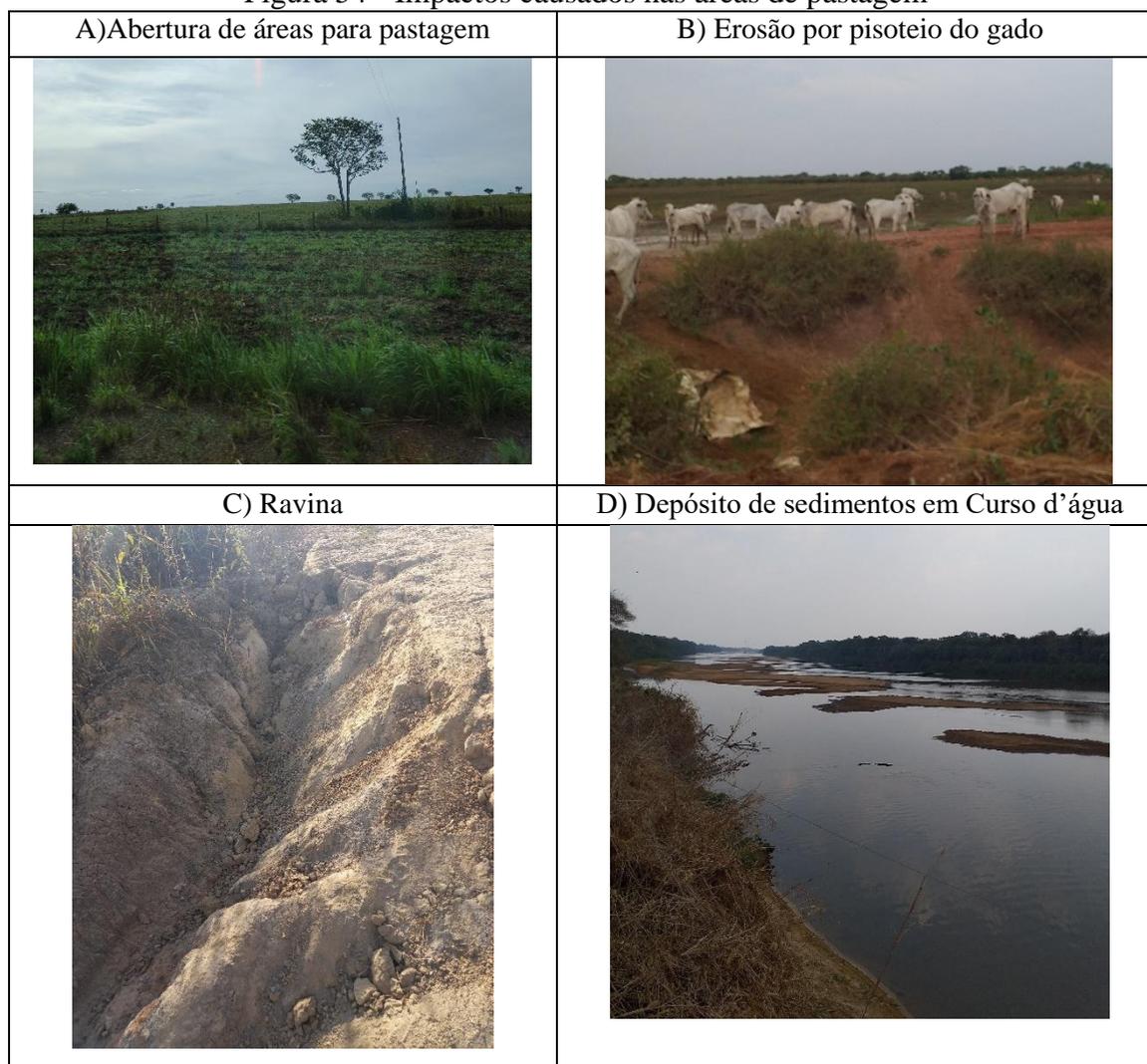


Fonte: Acervo fotográfico pessoal.

Além da contaminação das águas superficiais e subterrâneas, tais transformações também provocam a alteração na microbiologia do solo e a morte de polinizadores e de organismos que controlam as populações de pragas, trazendo prejuízos às lavouras (PINHEIRO E FREITAS, 2010).

O desmatamento de formações florestais para a abertura de novas áreas de pastagem na parte mais alta, localizada a leste da AEG-01, tem impacto sobretudo nos processos erosivos causados pelo pisoteio do gado nas vertentes dos rios (Figura 54), fornecendo sedimentos que são carregados para os cursos d'água, alterando a geometria das encostas, intensificando a erosão laminar e em sulco.

Figura 54- Impactos causados nas áreas de pastagem



Fonte: Acervo fotográfico pessoal

Podemos assim afirmar que as mudanças no uso e ocupação da terra, principalmente a conversão de florestas para o cultivo agrícola associadas a práticas de manejo inadequadas e uso não eficiente dos sistemas de irrigação, bem como o uso indiscriminado dos agrotóxicos e fertilizantes colaboram com a perda de capacidade de suporte ambiental da região.

Esses impactos são ainda mais preocupantes em áreas onde os componentes físicos apresentam maior fragilidade ante as intervenções antrópicas. Buscando identificar as mudanças de uso e ocupação e determinar suas fragilidades ambientais, observamos que as áreas ocupadas pelo cultivo de lavouras estão nas zonas cuja classificação foi denominada com “Média” e “Alta” fragilidade.

Essa classificação chama a atenção para a capacidade de suporte ambiental da AEG-01 para a expansão da produção de grãos, uma vez que ao observar o avanço da

atividade agrícola em áreas de média e alta fragilidade ambiental, podemos afirmar que ocorre uma redução na capacidade de acomodar e incorporar as atividades antrópicas, uma vez que os recursos naturais ali presentes ficam comprometidos.

Ao hierarquizar a área conforme as classes de fragilidade e associa-las às análises de uso e ocupação ao longo do tempo, é possível orientar e definir planos de recuperação, planejamento e zoneamento territorial e ambiental.

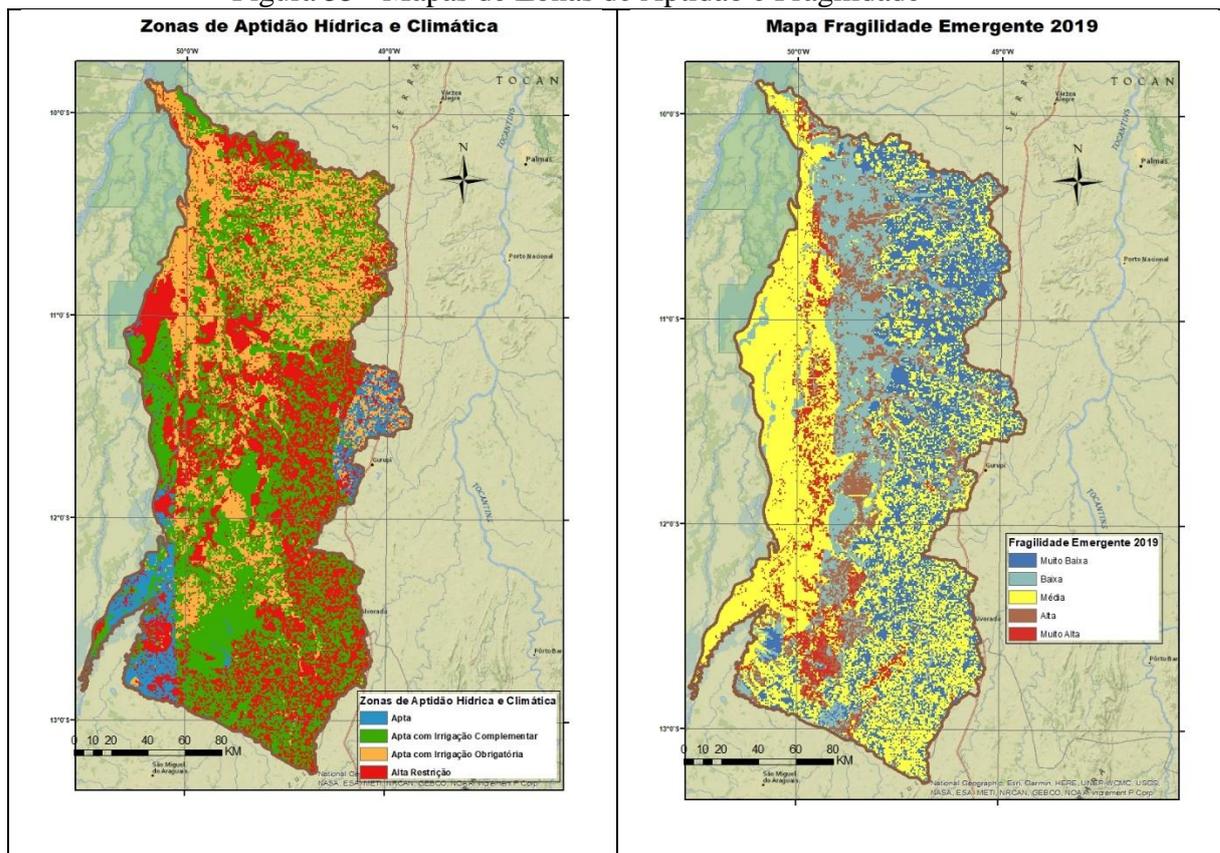
Sendo assim, destaca-se a importância de entender o gradiente de variação da fragilidade ambiental em uma área que sofre com as ações do intensivo cultivo agrícola, dependente dos sistemas de irrigação. Neste sentido, partiu-se para a análise das zonas de aptidão hídrica e climática.

O uso eficiente da água nos sistemas de irrigação garante alta produtividade, reduzindo perdas causadas por deficiências hídricas. COUTO (2003) constata que a produtividade agrícola, em regiões irrigadas, encontra-se 2,4 vezes maior em relação à agricultura de sequeiro, no Brasil a agricultura irrigada utiliza três milhões de hectares, distribuídos em todo território brasileiro.

Assim, a produção de grãos na AEG-01 depende exclusivamente de técnicas de irrigação, para o cultivo de grãos como a soja semente, o milho e o arroz, uma vez que a demanda hídrica desses cultivares em média é de 700 mm e a deficiência hídrica da região fica em torno de 500 mm.

Ao analisar os mapas de zonas de aptidão hídrica e da fragilidade ambiental emergente (Figura 55), podemos observar que as zonas de alta restrição hídrica coincidem com as áreas de maior fragilidade. A produção agrícola da AEG-01 que depende exclusivamente dos sistemas de irrigação, também estão comprometidas com a fragilidade ambiental, podendo não suportar o uso intensivo que o cultivo mecanizado exige.

Figura 55- Mapas de Zonas de Aptidão e Fragilidade



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Considerando a hipótese de capacidade de suporte ambiental da AEG-01 para a expansão da produção agrícola, podemos afirmar que, com a adoção das mesmas práticas de irrigação e ocupando áreas com as mesmas tendências, a região não irá suportar a prática de produção agrícola.

Pressupondo as mesmas dinâmicas ocorridas até 2019, a pesquisa apontou que o incremento de novas áreas tanto de pastagem quanto de lavouras tende a ocupar áreas de maior fragilidade ambiental e restrição hídrica e climática. Assim, a continuidade do processo poderá inviabilizar inclusive o plantio de grãos nas áreas que hoje estão ocupadas pelas lavouras.

Os efeitos das mudanças climáticas já atingem a produção agrícola e tem comprometido safras, reduzido a produtividade e, em consequência, trazido prejuízos financeiros (Nobre, 2010). Apontada por inúmeros cenários, a mudança do clima indica riscos e possíveis impactos para a agricultura em todo o mundo nas próximas décadas, é urgente que novas tecnologias de adaptação e mitigação dos efeitos dessas mudanças devem ser implementadas. Segundo a OECD-FAO (2017), projeta-se que comércio mundial de soja deverá crescer 25% (36 milhões de toneladas) em 10 anos, e a China

responderá por 85% desse aumento: e o de óleo de soja 27% (3,2 milhões de toneladas), sendo a Índia a principal responsável por esse crescimento. No caso do milho, as projeções indicam crescimento de 18%, o que corresponde a 25 milhões de toneladas a mais no comércio mundial, que atingirá 168 milhões de toneladas em 2026/2027.

Diante dessas projeções de aumento na demanda por alimentos no mundo, as regiões de produção agrícola como a AEG-01, sofrem pressão para a abertura de novas áreas para cultivo. A previsão de expansão das áreas de produção agrícola para 2029 aponta que zonas de “média” restrição tendem a se transformar em zonas de ‘alta” e “muito alta” restrições, isto sem considerar as mudanças climáticas, que certamente potencializa os impactos ambientais e econômicos aqui apresentados

A não observância das questões ambientais e da capacidade de suporte de áreas de produção agrícola elevará ainda mais o risco na agricultura nos próximos anos. É primordial o emprego de políticas públicas e de mecanismos que visam minimizar os riscos e diminuir o diferencial tecnológico entre as diferentes classes de produtores rurais. Investimento em tecnologia e recuperação de áreas degradadas serão fundamentais no processo de valorização da produção agrícola, o que exigirá maiores recursos financeiros, humanos e técnico-científicos e possível substituição dos sistemas de irrigação e até mesmo a substituição da produção de grãos.

Sendo assim, as mudanças de uso da terra na AEG-01 devem ser definidas pelo processo de planejamento territorial e reconhecimento dos impactos que ali ocorrem principalmente por meio do mapeamento e da definição de zonas de uso, passando pela elaboração de documentos com diretrizes e normatizações, que delimitam abertura de novas áreas em função de suas fragilidades ambientais e aptidões econômicas.

Ao analisar o mapa das zonas de aptidão para atividade agrícola é possível estabelecer diretrizes para o reordenamento territorial, com as seguintes recomendações para AEG-01:

- a) *Áreas prioritárias à recuperação preservação permanente*, incluem áreas de APP e as zonas de contato entre as zonas restrição legal à atividade agrícola, constituem ambientes frágeis com elevado perda de solo, com a evidência de queimadas e desmatamento de matas ciliares.
- b) *Áreas destinadas ao uso agrícola*, áreas destinadas ao plantio agrícola e a pecuária segundo os graus de restrição:

-“Muito Alta” a “Alta ”restrição – recomenda-se a produção agrícola não mecanizada, o atual sistema de irrigação deve ser substituído. Quanto a pecuária em áreas com solos arenosos não propiciaria ao desenvolvimento sem que haja maiores investimentos. Recomenda-se buscar outras alternativas de irrigação e alternativas de culturas perenes, como sistema de gotejamento e frutíferas.

- “Média” restrição: recomenda-se utilização da agropecuária, cultivo de pastagens e culturas perenes com baixo grau de mecanização e irrigação. Com investimentos em novos sistemas de irrigação e correção dos solos para melhor desenvolvimento da plantação de gramíneas mais adaptáveis, como a *brachiária*, para melhor rendimento e conservação do solo.

- Áreas com “Baixa” restrição: por representar menos de 10% da área, recomenda-se buscar outras alternativas de plantio de culturas.

As recomendações estabelecidas pelo reordenamento territorial da AEG-01, dependem de programas para fomentar o desenvolvimento local, observando os aspectos produtivos e de conservação ambiental, com foco na disponibilidade hídrica, uma vez que a região depende dos sistemas de irrigação para a produção agrícola. Esses programas devem apresentar mecanismos econômicos, certificações e programas de fiscalização, monitoramento e extensão rural que incentivem e instrumentalize o produtor rural no cumprimento da legislação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a evolução do uso e cobertura da terra em diferentes períodos, buscando compreender a relação da sua dinâmica com a fragilidade ambiental e as zonas de aptidão agrícola hídrica e climática, diante de um cenário futuro de expansão da atividade agrícola.

O estudo da evolução de uso e cobertura da terra em diferentes períodos permitiu definir de forma satisfatória, as mudanças ocorridas nas classes de uso agrícola (pastagem e outras lavouras) e formações florestais. As principais variações nas taxas de transformações demonstraram que as mudanças ocorreram em áreas antes ocupadas por pastagens, prática tradicional na região, e pela abertura de novas áreas, para cultivo de grãos.

A expansão da atividade agrícola, pastagem e outras lavouras, na AEG-01 entre os anos de 1985 até 2019 foi de 124%, dos quais 53% ocorreu no período de 1985 até 2000, período de maior ocupação do território. Áreas que antes eram ocupadas por pastagem foram transformadas em áreas de cultivo de grãos, com 20 % de perda de área florestal de 20% (desmatamento), para ocupação de atividade agrícola que seguiram mantendo o crescimento até 2019.

O cenário simulado para o uso e ocupação da terra em 2029 confirmou que, caso a expansão da atividade agrícola continue com o mesmo ritmo e com os mesmos padrões, as áreas de pastagem e outras lavouras terão um incremento de 25%, sendo 12% em perda de área de formação florestal, com eminente risco de avanço sobre as Unidades de Conservação e Terras Indígenas.

A dinâmica na transformação do uso e ocupação da AEG-01 foi marcada por impactos ambientais, como desmatamento, erosão, assoreamento e escassez hídrica. O mapeamento da fragilidade ambiental para o cenário atual, mostrou que a produção agrícola está sobreposta em áreas de classes consideradas de “média” a “alta” (fragilidade ambiental potencial), porém, quando consideramos a influência antrópica da mecanização agrícola nessas áreas elas passam a ser classificadas de “alta” e “muito alta” (fragilidade ambiental emergente). Igualmente para o cenário de 2029, considerando as mesmas práticas de irrigação e avanço de áreas de plantio, a tendência seria do aumento de áreas classificadas de “muito alta” fragilidade.

Considerando as zonas de aptidão hídrica e climática combinadas às exigências térmicas e hídricas das principais culturas da região, é possível afirmar que sem os sistemas de irrigação a região não atenderia a produção agrícola em escala industrial, ou seja, não teria toda a representatividade no agronegócio. A expansão de áreas agrícolas para produção nos níveis atuais levará ao aumento proporcional da demanda de uso da água pela irrigação.

A metodologia adotada e os resultados apresentados permitem afirmar que a capacidade de suporte ambiental da AEG-01 está comprometida, tanto do ponto de vista das fragilidades ambientais quanto da disponibilidade hídrica e das condições climáticas.

Sendo assim, ao se pensar na expansão de produção agrícola na AEG-01, pela dinamização e aumento da produção de grãos, o mesmo deve ser analisado pela ótica do aumento da produtividade, já que o aumento de áreas destinadas para a agricultura irrigada, compromete a disponibilidade hídrica e altera as condições climáticas locais, como temperatura e precipitação, a região poderá chegar a uma situação de extremo déficit hídrico e, conseqüentemente, baixa produtividade agrícola se continuar a seguir os mesmos padrões do início da sua ocupação até os dias atuais, considerando a expansão da cultura para áreas de pastagens.

É preciso pensar na diversificação da produção agrícola, na ótica do desenvolvimento regional, uma região que não diversifica sua produção, fica vulnerável às oscilações da economia globalizada, correndo maiores riscos e incertezas, a diversificação é um pilar importante para o desenvolvimento regional, uma região diversificada é mais adaptável e flexível às mudanças econômicas.

Neste trabalho não foi dimensionado o impacto de perdas financeiras, considerando a inviabilidade da produção agrícola para cenários futuros, nos aspectos do eminente risco da escassez hídrica e climática.

Dessa forma é necessário o avanço de mais pesquisas sobre o desempenho das safras e práticas agrônômicas adequadas para as condições locais, uma vez que o desenvolvimento da agropecuária está condicionado ao modelo institucional de desenvolvimento tecnológico a ser implantado, onde, a pesquisa deve ser calcada na realidade regional, considerando as suas fragilidades e potencialidades.

Para tanto, faz-se necessário investimentos efetivos em estratégias de gestão territorial, considerando a disponibilidades dos recursos naturais. Os cenários propositivos, obtidos por ferramentas de simulação, são tecnologias que permitem o planejamento de projetos de viabilidade social, econômica e ecológica. Projetos e

programas que possibilitem o uso dos recursos com agregação de valor aos produtos gerados, identificando áreas prioritárias ao uso e a conservação da biodiversidade, com a implantação de ações de manejo adequadas à manutenção do equilíbrio e da resiliência de seus ecossistemas.

A implantação de políticas públicas sobre mudanças climáticas torna-se fundamental para o desenvolvimento da AEG-01, uma vez que a região é dependente de sistemas de irrigação para a produção agrícola, as utilizações de recursos oriundos dessas políticas poderão subsidiar o a implantação de mecanismos econômicos que possibilitem as mudanças das atividades produtivas, bem como, seu manejo, com práticas agropecuárias de baixo impacto, maior adesão ao cadastro ambiental rural (CAR) e proteção de terras indígenas e unidades de conservação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA F, et.al. A formação da propriedade e a concentração de terras no Brasil **Revista de História Econômica & Economia Regional Aplicada** – Vol. 4 Nº 7 Jul-Dez 2009.

ALMEIDA, C. M. de.; MONTEIRO, A. M. V. CÂMARA, G. Modelos de Simulação e Prognósticos de Mudanças de Uso do Solo Urbano: Instrumento para o Subsídio de Ações e Políticas Públicas Urbanas. In: **Encontro nacional de pós-graduação e pesquisa em planejamento urbano e regional**. ANPUR. Salvador. 2005.

ALMEIDA, I, R. **O Clima como um dos fatores de expansão da cultura da soja no Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso**. Universidade Estadual Paulista. FaCT. Tese Doutorado (119p). 2005

ALMEIDA, C. M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.) **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

ALVES, E. R. de A.; CONTINI, E.; GASQUES, J. G. Evolução da produção e produtividade da agricultura brasileira. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. v.1, p. 67. 2008

AMARAL, R.; ROSS, J. L. S. As Unidades Ecodinâmicas na Análise da Fragilidade Ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 26, PP. 59-78, 2009.

AMBRÓSIO, L. A.; FASIABEN, M. C. R.; MORAES, J. F. L. Dinâmica dos usos e coberturas da terra em área de preservação permanente na bacia hidrográfica dos rios Mogi guaçu e Pardo, no período entre 1988 e 2002. In: **XV Congresso sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural**, 2008

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 86 p. 2017

AJARRA, César et. al. O estado do Tocantins: reinterpretação de um estado de fronteira. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, vol. 53, n. 4, pp. 5-48, out./dez., 1991.

ANDREASSIAN, V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 291, p. 1-27, May 2004.

AQUINO, N, A. A construção da Belém-Brasília e suas implicações no processo de urbanização do Estado do Tocantins. In: GIRALDIN, Odair (org.). **A (trans)formação histórica do Tocantins**. Goiânia: Ed.UFG, ed, 2004.

ARBUÉS, M, P. A migração e a construção de uma nova identidade regional: Gurupi (1958-1988). In: **A (trans)formação histórica do Tocantins** – GIRALDIN, Odair (org.). Goiânia: Ed. UFG, 2. ed. 446p. 2004.

BACHMAIR, S. e. a. Controls of land use and soil structure on water movement: lessons for pollutant transfer through the unsaturated zone. **Journal of Hydrology**, v. 369, n. p. 241-252, 2009.

BARBOSA, Y. M. **Conflitos sociais na fronteira amazônica: Projeto Rio Formoso**. Campinas, SP: Papirus; Goiânia: Elege Publicidade e Editora Ltda., 1996.

BATTY, M. **GeoComputation Using Cellular Automata**. **GeoComputation**. S. Openshaw and R. J. Abraham, Taylor&Francis. p.95-126.2000

BECKER, B. **Geopolítica da Amazônia: a nova fronteira de recursos**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1982.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. C. **Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. LAGET/UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

BENEDETTI, A.C.P. **Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das serras do sudeste e campanha meridional do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado) em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 166p. 2010

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, 1996. 596 p.

BISPO, M. O. **Cenários, olhares, tramas e cotidiano: a educação ambiental no entorno da Ilha do Bananal – TO**. Universidade Federal do Tocantins, 254 p. EDUFT, 2016.

BOUMAN, B; HUMPHREYS, E., TUONG, TP, BARKER, R. **Rice and Water, in: Advances in Agronomy**. pp.187-237. doi: 10.1016 / S0065-2113 (04) 92004-4. 2007

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil projeções do agronegócio 2015/2016 a 2025/2026**. Ministério da Agricultura, Pecuária e

Abastecimento; Secretaria de Políticas Agrícolas. Coordenador Neri Geller– Brasília: IICA: MAPA/SPA, 7ª edição. Ano 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. **Plano de Ação Emergencial para o Parque Nacional do Araguaia**. Brasília: 56 p. (Documento de informações básicas). 1994

BRASIL. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. **Legislação Brasileira sobre Meio Ambiente** - 3. ed. Centro de Informação e Educação. Edições Câmara, Brasília. 2010.

BREITBACH, A. C. M., O desenvolvimento da região de Caxias do Sul. In: **XXI Encontro Estadual de Geografia**. Caxias do Sul, jun.2001.

BRIASSOULIS, H. Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. In: **The Web Book of Regional Science**. Morgantown: Regional Research Institute, West Virginia University. Disponível em: [www.rri.wvu.edu/regscweb.htm](http://www.rri.wvu.edu/regscweb.htm). 2000.

BRUIJNZEEL, L.A. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 104, p. 185-228, 2004.

BUARQUE, S.C. **Metodologias e Técnicas de Construção de Cenários Globais e Regionais** – Brasília – IPEA nº 939 texto para discussão.2003

CABRAL, J, B. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO). **Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, v. 11, n. 1578-5157, p.51-69, 31 jan. 2011. Anual. Disponível em: <<http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/212>>. Acesso em: 06 jun. 2021.

CAMPOS, L. P. Matéria Orgânica e qualidade física do solo em ambientes brasileiros. In: FERNANDES, C. (Coor.) **Tópicos em física do solo**. Funep, Jaboticabal-SP, 144p. 2012

CASSSETTI, W. **Ambiente e apropriação do relevo** – Editora Contexto, São Paulo, 1991

CARVALHO, I. R, KORCELSKI C, PELISSARI, G, DALMIR A, HANUS, GENESIO M, R. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico enciclopédia biosfera, **Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v.9, n.17; p. 2019

CARVALHO, G, A. **Contribuições metodológicas ao planejamento urbano [manuscrito] : comparação de métodos de análise multivariada e modelos de simulação da paisagem urbana – aplicações na Regional Pampulha – Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.** Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, 2015

CASTILLO, R. Agricultura Globalizada e Logística nos Cerrados Brasileiros. In: SILVEIRA, Márcio Rogério (Org). **Circulação, Transportes e Logística: diferentes perspectivas.** São Paulo: Editora Outras Expressões, p. 331-354. 2011

CLAVERO, I., et.al. Implementación de un sistema de escenarios futuros sobre el mapa de usos de suelo de Andalucía. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), **Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.** Sevilla. Pp. 759-776. ISBN: 978-84-472-1294-1. 2010

CHADDAD, F. **The economics and organization of Brazilian agriculture: recent evolution and productivity gains.** San Diego: Elsevier, 2016.

CHENG, J. D., et al. Influences of forest on water flows from headwater watersheds in Taiwan. **Forest Ecology and Management**, v.165, n. p. 11-28, 2002.

CHRISTOFOLETTI, A. **A morfologia de bacias de drenagem.** Notícias Geomorfológicas, Campinas, v.18, n. 36, p. 130-132, 1978.

\_\_\_\_\_. **Análise de sistemas em geografia.** São Paulo: Hucitec, 1979. 106 p.

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Edgard Blucher, 1981. 189 p.

\_\_\_\_\_. **Modelagem de sistemas ambientais.** Editora Edgard Blucher Ltda, 1999. 236p.

CREPANI, E; MEDEIROS, J. S; AZEVEDO, L. G; DUARTE, V; HERNANDEZ, P; FLORENZANO, T. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico.** São José dos Campos: INPE, 1996.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P. F.; FLORENZANO, T. G.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e**

**Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico Econômico e ao Ordenamento Territorial.** São José dos Campos: INPE, 2001.

COELHO, M.R., SANTOS, H.G., OLIVEIRA, R.P., MORAES, J.F. V. Solos, in: Santos, A.B., Stone, L.F., Vieira, N.R.A. (Eds.). **A Cultura Do Arroz No Brasil.** Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, Brazil, p. 161–208. 2006

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra de Grãos do Tocantins. **Boletim do oitavo levantamento safra 2017/2018.** 2018.

CÔRTEZ, J.C. e D'ANTONNA, A.O. **Dinâmicas no uso e cobertura da terra: perspectivas e desafios da Demografia.** R. bras. Est. Pop., Rio de Janeiro, v. 31, n.1, p. 191-210, jan./jun. 2014.

CUISENAIRE, O.; MACQ, B. Fast Euclidean distance transformations by propagation using multiple neighborhoods. **Computer Vision and Image understanding**, v.76, n.2, p.163-172, 1999.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N. et al. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG, v. 26, n. 4, p. 1047-1054, 2002.

DALLA-NORA, LENNON, E; AGUIAR, A, P, D; LAPOLA, D, M. Why have land use change models for the Amazon failed to capture the amount of deforestation over the last decade?**Land Use Policy. Amsterdam**, v. 39, n. 1, p.403-411, 08 fev. 2014.

DALMAS, F. B. **Análise da evolução do uso e ocupação do solo na UGRHI-11 e avaliação de cenários futuros em função de processos erosivos e de movimentos de massa utilizando técnicas de geoprocessamento.** p. 147. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências/USP. São Paulo. 2013

DECIAN, V.S.; ZANIN, E. M.; KRAUSE, P.; QUADROS, F. R.; ROVANI, I. L.; Dinâmica do uso e cobertura da terra e fragmentação florestal em uma área de drenagem no norte do Rio Grande do Sul. **Revista Perspectiva.** V.40, n.149, p.21-32, março 2016.

DESTA, H., LEMMA, B., STELLMACHER, T. **Farmers' awareness and perception of Lake Ziway (Ethiopia) and its watershed management.** *Limnologica* 65, 61–75. 2017

DESTA,H ; Feteneb A. Land-use and land-cover change in Lake Ziway watershed of the Ethiopian Central Rift Valley Region and its environmental impacts. **Journal Elsevier**. 1-12. Disponível em: journal homepage: [www.elsevier.com/locate/landusepol](http://www.elsevier.com/locate/landusepol). 2020.

DIAS, L, T. **Modelagem dinâmica espacial do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Lago Paranoá-DF: 1998–2020**, 144p. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Geociências Aplicadas. 2011

DUNN, S. M. e MACKEY, R. Spatial variation in evapotranspiration and the influence of land use on catchment hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 171, n. p. 49-73, 1995.

ELIAS, D. Globalização e Fragmentação do Espaço Agrícola no Brasil. Scripta Nova: **Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. Universidad de Barcelona. Vol. X, nº 218 (03), 2006.

EMBRAPA Soja -Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil – Londrina: **Embrapa Soja**. 265p. – (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, ISSN 2176-2902; n.16). 2014.

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF, 2018. 212p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao/o-futuro-da-agricultura-brasileira>>. Acesso em Dezembro/2020

FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A (org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1ª ed. Brasília, DF: INMET. p. 261-278. 2009

FEITOSA, C.O. Panorama das atividades agropecuárias de exportação do Tocantins: soja e carne. Geosul, Florianópolis, v. 34, n. 71- **Dossiê Agronegócios no Brasil**, p. 154-174, abril. <http://doi.org/10.5007/1982-5153.v34n71p154>. 2019

FERREIRA, A, R. **Geomorfologia, geodiversidade e análise da fragilidade ambiental das paisagens do Parque Estadual Serra Ricardo Franco, MT-Brasil**. 168p (Tese de Doutorado Geografia Física) - Departamento de Geografia/FFLCH-USP- São Paulo. 2014.

FILET, M. **Análise de Capacidade de Suporte Ambiental: um Estudo de Caso: São Paulo**: TAQ, 1995.

FORNARO, A. C., **Logística e agronegócio globalizado no estado do Tocantins: um estudo sobre a expansão das fronteiras agrícolas modernas no território brasileiro-**

Campinas, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências. UNICAMP. 175p, 2012.

FURLAN, M. C. **Modelagem Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra da Bacia do Arroio Grande – RS**. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 129p. 2012

FURTADO, C. **Formação Econômica do Brasil**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1959.

FÜRSTENAU, V. **Pecuária: atraso ou modernização**. **Revista Indicadores Econômicos**. FEE, vol. 22, nº 4, 1994. Disponível em: <<http://revistas.fee.tche.br/index.php/indicadores/issue/view/42>>. Acessado em: 15 de novembro 2020.

GIRARDI, E. P.; FERNANDES, B.M. Luta pela terra e a política de assentamentos Rurais no Brasil: a Reforma Agrária conservadora. **Revista Agrária**, Universidade de São Paulo - USP, no 8, pp. 73-98, 2008.

GOMES, A.S; PORTO, M. P; PARFITT, J.M. B; SILVA, C. A. S. **Rotação de culturas em áreas de várzea e indicadores de qualidade do solo**. In: Embrapa - Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado. Pelotas –RS. Outubro, 2002

GONÇALVES, D. A.; SOUSA JÚNIOR, W. C.; ALMEIDA, C. M. Modelagem de alteração de uso e cobertura da terra em uma porção do município de Mineiros-GO utilizando o método de pesos de evidência. In: **XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada** (XII SBGFA), UFRN, Natal/RN. 13 p. 2007

GUARDA, P. M; RAMBO, M.K.D; MACHADO.M.M.D; RAMOS.F.O; MENDES.D.B; GUARDA, E.A; SILVA. J.E.C. Monitoring the water quality formoso river of the amazon region – brazil using principal component analysis **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**. V.12 n. 5. Maio 2021.

HAGEN, A. Multi-method assessment of map similarity. In: RUIZ, M., GOULD, M., RAMON, J. (Eds.), **Proceedings of the Fifth AGILE Conference on Geographic Information Science**, Palma, Spain, p. 171-182, 2002.

HIBBERT, A.R. Forest treatment effects on water yield. In: **International symposium on forestry hydrology**. Oxford. Oxford: Pergamon., p. 527-543. 1967

HIRAKURI, M, H; FRANCHINI, C, C, Julio. **Indicadores de sustentabilidade da cadeia produtiva da soja no Brasil** [recurso eletrônico] : /... [et al.]. – Londrina: Embrapa Soja, 70 p. (Documentos/ Embrapa Soja, ISSN: 2176-2937; n.351). 2014.

HOFFMANN, R.; NEY, M. G. Desigualdade, escolaridade e rendimentos na agricultura, indústria e serviços, de 2002. *Economia e Sociedade*, Campinas, v. 13, n., p. 51-79, 2004

HOANH, C. T.; PHONG, N. D; TRUNG, N. H; DUNG, L. C; HIEN. N. X; NGOC, N. VAN; TUONG T. P. Modelling to support land and water management: experiences from the Mekong River Delta, Vietnam. **Water International**. Vol. 37, No. 4, July 2012, 408–426. Disponível: <https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=rwin20>. Acesso em: Maio 2021

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, New York, v. 56, p. 273-370, Mar. 1945. STRAHLER, N.A. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transaction of the American Geophysical Union*, Washington, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

IAC/GESTÃO DE ALTO NÍVEL-GAN. **Plano do Biênio 2018-2019**. Universidade Federal do Tocantins, Instituto de Atenção às Cidades. [S.l.], p. 24. 2018.

IBGE. **Catálogo do Censo Demográfico**. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html>>. Acesso em: 15 Nov. 2020.

IBGE. **Produção agrícola e pecuária municipal: censo agropecuário, produção e extração vegetal da silvicultura**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>>. Acesso em: 22 out. 2019.

IPEA. **Economia Regional e Urbana: Teorias e Métodos com ênfase no Brasil / organizadores: Bruno de Oliveira Cruz ... [et al.]**.- Brasília. 2011.

JULIEN, P.-A.; LACHANCE, R., Dynamic regions and high-growth SMEs: uncertainty, potential information and weak signal networks. **Human Systems Management**, v.20, 2001. p.237-248.

JUNK, W, I. **Capacidade suporte de ecossistemas: Amazônia como estudo de caso. In: Análise Ambiental: Estratégias e Ações**. São Paulo. 1995

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. et al. *Soil erosion research methods*. Washington: **Soil and Water Conservation Society**, p. 141-160. 1988

LAMBIN, E. F. Modelling deforestation processes. A review. TREES publications series B: **Research Report** nº1. Luxemburgo: European commission. 1994

LAMBIN, E. F. Modelling and monitoring land cover change process in tropical regions. Progress in **Physical Geography**. 21:375-393.1997.

LAMBIN, E. F.; Rounsevell, M. D. A.; Geist, H. J. 2000. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? Agriculture, **Ecosystems & Environment**. 82:321-331. 2000.

LAMBIN, E.F., GEIST, H.J. Global land-use and land-cover change: what have we learned so far? **Glob. Change News Lett.** 46, 27–30. 2003

LAMBIN, E. F. Modelling Land-Use Change. In: Wainwright, J.; Mulligan, M. (eds) Environmental Modelling. Finding Simplicity in Complexity. London: **John Wiley & Sons**, p.245-254. 2004.

LIMA, D, A. **A expansão da soja na fronteira agrícola moderna e as transformações do espaço agrário tocantinense**. (Dissertação de Mestrado) Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas [s.n.]. Campinas, SP. 2014

LIRA, E. R. **A gênese de Palmas - Tocantins: a geopolítica de (re)ocupação territorial na Amazônia legal**. Goiânia, GO: Kelps, 2011

LOPES, D, S. **Dinâmica do uso e cobertura da terra e fragmentação da paisagem no cerrado piauiense**. 87p. Dissertação – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2018.

KIM, D; BATTY, M. Calibrating Cellular Automata Models for Simulating Urban Growth: Comparative Analysis of SLEUTH and Metronamica. **Centre for Advanced Spatial Analysis. Paper**. v. 176, 2011

MACHADO, P.J.O. Uma proposta de zoneamento ambiental para a bacia hidrográfica da represa de São Pedro. Juiz de Fora – MG. Dissertação de Mestrado. UNESP. Presidente Prudente. 1998

MARTINS, J. S. **Fronteira: a degradação do outro nos confins do humano**. São Paulo. Editora Hucitec, 1997.

MARTINS, A.K.E; SCHAEFER, C, E; SILVA, G. R.; SOARES, V, P; Relações solo-geoambiente em áreas de ocorrência de ipucas na planície do médio araguaia – estado do

Tocantins. **Sociedade de Investigações Florestais** R. *Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.297-310, 2006.

MMA (Ministério do Meio Ambiente) - **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica** – Brasília: MMA, 2006. 302 p. : Bibliografia ISBN 85-7738-047-5. 2006

MMA (Ministério do Meio Ambiente) - **Vulnerabilidade Ambiental, Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** 192p. 2007. Disponível em: <[http://www.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/livros/Vulnerabilidade\\_ambiental\\_desastres-naturais\\_ou\\_fenomenos\\_induzidos\\_MMA\\_2007.pdf](http://www.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/livros/Vulnerabilidade_ambiental_desastres-naturais_ou_fenomenos_induzidos_MMA_2007.pdf)> Acesso em: junho 2021

MAO, D. e CHERKAUER, K. A. Impacts of land-use change on hydrologic responses in the Great Lakes region. **Journal of Hydrology**,v. 374, n. p. 71-82, 2009

MAPA (Ministério da Agricultura e Pecuária) - Acesso ao sistema **Renasem** - <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/renasem>. 2018

MAPBIOMAS. **Projeto de mapeamento anual da cobertura e uso do solo do Brasil**. 2017. Disponível em: <<http://mapbiomas.org>> Acesso em: 22 nov. 2019.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass – **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**, 2020. acesso em 03/11/2020 através do link: “<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>”

MAUPIN, M. A. et al. **Estimated use of water in the United States in 2010**. Virginia: USGS, 56 p. (Circular, 1405), 2014.

MELO, M. A. **Indicadores geoambientais como instrumento de avaliação e monitoramento aos projetos de Zoneamento Ecológico-Econômico no Brasil**. 319 p. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo - São Paulo, 2015.

MONTEIRO, J. E. B. A. (org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1ª ed. Brasília, DF: INMET, 530 p.: il. 2009

MORAES, A. C. R., **Território e história no Brasil**. São Paulo: Hucitec, 2002.

MOTA, S. **Planejamento Urbano e preservação ambiental**. Fortaleza: UFC, 1991.

NOVAES, M. R.; RUDORFF, B. F. T. ; ALMEIDA, C. M. ; AGUIAR, D. A. **Análise Espacial da Redução da Queima na Colheita da Cana-de-Açúcar: Perspectivas Futuras ao Cumprimento do Protocolo Agro-Ambiental.** Engenharia Agrícola (Impresso), v. 31, p. 572-583, 2011.

NOBRE, C. Uma reflexão sobre mudanças climáticas, riscos para a agricultura brasileira e o papel da Embrapa. Disponível em <https://www.embrapa.br/en/olhares-para-2030/mudanca-do-clima>. 2010. Acesso em Junho 2021

NUNES, A. Recursos hídricos superficiais na bacia hidrográfica do rio Côa num contexto de importantes alterações ambientais e socioeconômicas. In: **Congresso ibérico sobre gestão e planejamento da água.** 2006.

OLIVEIRA, R. **O movimento separatista do Tocantins e a CONORTE (1981-1988).** Dissertação de Mestrado. UNICAMP, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Campinas, SP, 1998.

OLIVEIRA, T. J. A. **Interações produtivas no estado do Tocantins: uma análise espacial.** 90 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, 2012.

OLIVEIRA, T. J. A.; PIFFER, M. Da Amazônia Legal ao Centro Norte: as transformações econômicas espaciais. **RBEUR**, Recife: v. 19, n. 1, p. 164-178, jan.-abr., 2017. Doi: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2017v19n1p164>. 2017

OSADA, N, M. PRODECER: Projetos no cerrado e dívidas agrícolas. **Carta Asiática.** In: Carta Asiática. São Paulo: USP, agosto, 1999.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Update of the Digital Global Map of Irrigation Areas (GMIA) to Version 5.** Roma (Itália), 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/3/I9261EN/i9261en.pdf>. Acesso em: Maio2021

OECD-FAO agricultural outlook 2017-2026. Paris: **OECD Publishing**, 2017. DOI: 10.1787/agr\_outlook-2017-en.

PALACÍN, L.; MORAES, M. A. S. **História de Goiás (1722-1972).** 7ª ed. Goiânia: Editora Vieira e UCG, 2008.

PAEGELOW, M; CAMACHO, M, T. **Modelling Environmental Dynamics.** **Environmental Science And Engineering**, [s.l.], p.109-139, Springer Berlin Heidelberg, 2008

PACHECO, J. A. A. *et al.* Capacidade de Suporte como Instrumento para a Sustentabilidade Ambiental: Caso da Região Central de Muanza, Província de Sofala – Moçambique/África. **Revista Geonorte**, v.3 (6), p. 679-691, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/3492/3088>. Acesso em: 14 maio 2020.

PEDROSA, B. M.; CÂMARA, G. 2002. **Modelagem dinâmica e geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE. 39p. 2002.

PELUZIO, J, M.; Afféri, F, S; Monteiro, F, J, F; Melo, A,V.; Pimenta, R, S. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em várzea irrigada no Tocantins. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 3, p. 427-434, Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. Anais: [www.ccarevista.ufc.br](http://www.ccarevista.ufc.br) ISSN 1806-6690. jul-set 2010

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Edição Revista e Ampliada. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Ciências Exatas, 2007. Versão digital, 202 p.

PINHEIRO, J. N.; FREITAS, B. M. Efeitos letais dos pesticidas agrícolas sobre polinizadores e perspectivas de manejo para os agroecossistemas brasileiros. **O ecologia australis**, v. 14, n. 1, p. 266-281, 2010.

PISSARRA, T.C.; GALBIATTI, J.A.; BORGES, M.J.; ROSALEN, D.; IHA, D. Avaliação por fotointerpretação do uso/ocupação do solo e erosão acelerada em microbacias hidrográficas utilizando sistemas de informação geográfica. In: **simpósio brasileiro de sensoriamento remoto**, Goiânia. INPE. p. 2331-2337. 2005

PMAC. A Proclamation to Provide for the Public Ownership of Rural Lands. Proclamation No. 31 . **The Provisional Military Administration Council**, Addis Ababa, Ethiopia. 1975

PRADO JÚNIOR, C. **História Econômica do Brasil**. 46ª reimpressão. São Paulo: Editora Brasiliense, 2004.

PRADO, J, C. **Formação do Brasil Contemporâneo: Colônia**. ed. São Paulo: Brasiliense, 2004.

REIS, A. F. de B. **Desempenho do arroz, eficiência hídrica e de nitrogênio em diferentes irrigações regimes em planícies tropicais**. USP- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz. Tese (doutorado) 77p. 2017

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 4.ed. Viçosa, MG: Editora UFV. 338 p. 2002.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma do cerrado: os biomas do Brasil**. In: Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: Embrapa. p. 89-116. 1998

ROCHA, C. E. R. FOSCHIERA A. A. Modernização e avanço de fronteira agrícola no sudeste da amazôna legal: o caso de Porto Nacional – TO. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.11, n.26, mai./ago. de 2017. pp.19-34

ROCHA, J. S. M. e KURTS, S. M. J. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. UFSM/CCR. 120 p. 2001

RODRIGUES, C; ADAMI, S. F. Técnicas de Hidrografia. In: VENTURI, L. A. B. **Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Sarandi, 2011.

RODRIGUES, P. M. **A caminhada de Tanyxiwè: Uma teoria Javaé da História**. Universidade de Chicago. Tese Doutorado. 953 p. Chicago, Illinois. 2008. Disponível em: [http://www.uft.edu.br/neai/file/a\\_caminhada\\_de\\_tanyxiwe.pdf](http://www.uft.edu.br/neai/file/a_caminhada_de_tanyxiwe.pdf). Acesso em: Jan/2021

RODRIGUES, W, OLIVEIRA, T, J, A. O norte do goiás antes do tocantins: As decisões do estado que influenciaram No processo de criação desta nova Unidade da federação. **Revista fronteiras**, Dourados, MS, v.15, n.26, p.57-71, 2013

RODRIGUES, H.O., SOARES-FILHO, B. S., COSTA, W. L. S. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2007.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade empírica dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Depto de Geografia da USP**. São Paulo. n.8, 1994.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 208p.

ROSSETTI, L. A. F.; ALMEIDA, C. M.; PINTO, S. A. F. Análise de mudanças no uso do solo urbano e rural com a aplicação de modelagem dinâmica espacial. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013

ROY, G. G, F. Citylife: A study of cellular automata in urban dynamics. **Spatial Analytical Perspectives on GIS**. M. Fisher. London, Taylor & Francis: 213-218. 1996.

SAVADORE, B. **China's hunger for soya more animal than vegetable**. 2013. Disponível em: <[https:// phys.org/news/2013-09-china-hunger-soya-animalvegetable.html](https://phys.org/news/2013-09-china-hunger-soya-animalvegetable.html)>. Acesso em: 8 ago. 2021.

SAMBUICHI, R.H.R; OLIVEIRA, M.A.C; SILVA, A.P.M; LUEDEMANN, G. **A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafio**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. IPEA. 2012.

SANCHEZ, P.A. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. 1st ed. **John Wiley & Sons, Inc.**, Ames, USA. 1976

SANTOS, L, B; BARROS, M, N, R; COELHO, A, S; FENZL, N. Análise da Dinâmica do Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim, Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.13, n.04 1935-1952. 2020.

SANTOS, M. **A Urbanização Brasileira**. São Paulo. Hucitec, 1993.

SANTOS, M; SILVEIRA, M, L. **O Brasil: território e sociedade no início do século XXI**. Rio d Janeiro: Record, 2001.

SANTOS, Milton. **Técnica, Espaço, Tempo**. São Paulo: Hucitec, 1994.

\_\_\_\_\_ **A natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. São Paulo: Edusp, 1996.

\_\_\_\_\_ **Metamorfoses do Espaço Habitado**. São Paulo: Hucitec, 1997.

\_\_\_\_\_ **Pensando o Espaço do Homem**. 5ª ed. São Paulo: EDUSP, 2004. 96 p.

\_\_\_\_\_ **A urbanização Brasileira**. São Paulo: EDUSP, 2005.

\_\_\_\_\_ **Por uma Outra Globalização: do pensamento único à consciência universal**. 15º ed. Rio de Janeiro: Record, 2008.

SANTOS, R. **Os condicionamentos das Políticas territoriais e do processo de territorialização dos atores hegemônicos no desenvolvimento regional e local: uma análise crítica no contexto de Tocantins**. 354 f. Relatório Científico (Estágio de Pós-Doutoramento) – Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO, 2013.

SEAGRO (Secretaria de Agricultura do Tocantins). **Programa de Desenvolvimento da Região Sudoeste do Estado do Tocantins - Prodoeste**. Disponível em:<http://seagro.to.gov.br/prodoeste>. 2016

SEMARH (Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Tocantins). **Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso – PBH**. Relatório Final. Volume 4: Planos de Ações em Recursos Hídricos – Fase C. 451 P. 2007

\_\_\_\_\_**Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso – PBH**. Rio Formoso, no estado do Tocantins. 2007

\_\_\_\_\_**Plano de Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Tocantins**. Relatório Final. Volume 1. 211 P. 2011

\_\_\_\_\_**Perfil do Agronegócio Tocantinense** - Relatório Final. Disponível em: <https://seagro.to.gov.br/agricultura/>. 2016

\_\_\_\_\_**Uma Indicação de Potencial de Uso das Terras do Tocantins. Zoneamento Agroecológico do Tocantins**. Palmas.14p 2000

\_\_\_\_\_**Anuário Estatístico do Estado do Tocantins**. Palmas, Tocantins, 2009, 878p.

\_\_\_\_\_**Diagnóstico Ecológico Econômico do Estado do Tocantins**. Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins Palmas: Seplan/GIES. Vol. II. 710 p., Ilust.2017

SEFAZ (Secretaria da Fazenda e Planejamento). **Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins**. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. Gerência de Zoneamento Territorial (GZT). Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. Palmas. 464 p., Ilust. Série TOCANTINS / Recursos Naturais /Cartas Climáticas - v. 1. 2020

SEFAZ - Secretaria da Fazenda e Planejamento - Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas (DIGIT). Gerência de Informações Socioeconômicas. 2017

\_\_\_\_\_**Perfil Socioeconômico dos Municípios**. Secretaria do Planejamento e Orçamento -Diretoria de Pesquisa e Informações Econômicas - Palmas – TO (2017).

\_\_\_\_\_**Estado do Tocantins – Indicadores Socioeconômicos do Estado do Tocantins**. Palmas: SEFAZ/GEFINS, outubro - 2019. 71 p.

\_\_\_\_\_ **Perfil do Agronegócio Tocantinense** - Relatório Final. Disponível em: <https://seagro.to.gov.br/agricultura/>. 2016

\_\_\_\_\_ **Uma Indicação de Potencial de Uso das Terras do Tocantins. Zoneamento Agroecológico do Tocantins.** Palmas.14p 2000

\_\_\_\_\_ **Anuário Estatístico do Estado do Tocantins.** Palmas, Tocantins, 2009, 878p.

\_\_\_\_\_ **Diagnóstico Ecológico Econômico do Estado do Tocantins.** Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins Palmas: Seplan/GIES. Vol. II. 710 p., Ilust.2017

SEFAZ (Secretaria da Fazenda e Planejamento). **Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins.** Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. Gerência de Zoneamento Territorial (GZT). Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. Palmas. 464 p., Ilust. Série TOCANTINS / Recursos Naturais /Cartas Climáticas - v. 1. 2020

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos cultivos: Informações para uma agricultura sustentável. *In:* MONTEIRO, J. E. B. A (org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola.** 1ª ed. Brasília, p. 3-12. DF: INMET, 2009.

SCHEEREN,B,R et. al. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 32, nº 3 p. 035-041, 2010

SILVA, J.F. G. **A modernização dolorosa – estrutura agrária, fronteira agrícola e trabalhadores rurais no Brasil.** Zahar editores. Rio de Janeiro, 1982.

SILVA, C, A, S; PARFITT, J, M, B. **Irrigação por Inundação Intermitente para Culturas em Rotação ao Arroz em Áreas de Várzea do Rio Grande do Sul.** Embrapa. Pelotas, RS. ISSN-1516-8832.2005.Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/745231/1/CircT46.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2021

SOARES-FILHO, B. S.; ASSUNÇÃO, R. M.; PANTUZZO, A. E. Modeling the spatial transition probabilities of landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **BioScience**, v. 51, n. 12, p. 1059-1067, 2002.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; ARAÚJO, W. L.; VOLL, E. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **Megadiversidade**, v. 3, n. 1-2, p. 74-86, 2007.

SPÖRL, C. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física – FFLCH/USP, 2001. (Tese de Doutorado).

STONE, L.F. Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado, 1a ed. **Brazilian Agricultural Research Corporation** - Embrapa, Santo Antônio de Goiás. 2005

STEINITZ, C. **A Framework for Geodesign**. Esri Press, to be published in 2012.

TRANCOSO, R.; CARNEIRO FILHO, A.; TOMASELLA, J. Amazônia, desflorestamento e água. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 239, p. 30-37, jul. 2007

SHERBININ, A. **A guide to land-use and land-use cover change (LUCC)**. A collaborative effort of SEDAC and the IGBP/IHDP LUCC Project. Columbia University, New York, 2002

TAGLIANI, C.R.A. Técnica para Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Ambientes Costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informação. In: **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** INPE, Belo Horizonte-MG, 2003.

TEIXEIRA, A. H. C; LIMA FILHO, J. M. P. **Sistemas de Produção**. EMBRAPA SEMIÁRIDO. ISSN 1807-0027. Julho/2004.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: FEAGRI, 215 p. 2017

TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. Impactos das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.

\_\_\_\_\_. Environmental Issues in the la Plata basin. **Water Resources Development**, Dublin, v. 14, n. 2, p. 157-173, 1998.

TUCCI, C. E. M. e CLARCKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 943 p.

TUCCI, C.E.M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos: estudo preparado como contribuição da ANA (Agência Nacional de Águas) para a Câmara Temática sobre Recursos Hídricos. **Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Brasília: ANA, 150 p. 2002

\_\_\_\_\_. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 678 p.

\_\_\_\_\_. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. 943p.

TUONG, P., Bouman, B. a. M., Mortimer, M. Mais arroz, menos água - abordagens integradas para aumentar Produtividade de água em sistemas à base de arroz irrigado na Ásia. **Plant Prod. Sci.** 8, 231–241. doi: 10.1626 / pps.8.231. 2005

TURNER, B. L. et al. **Land-Use and Land-Cover Change Science/Research Plan**. IGBP Report N° 35, HDP Report N° 7. Stockolm & Geneva. 132p. 1995.

TURNER, M. G. Landscape Ecology: What is the state of the science . **Annual Review of Ecology and Systematic**. 36:319–344. 2005

VITTE, A. C, MELLO, J. P. **Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas conseqüências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico**. Climatologia e Estudos da Paisagem Rio Claro - Vol.2 - n.2 - p. 107, julho/dezembro/2007.

XIMENES, A. C.; ALMEIDA, C. M.; AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S.; AGUIAR, A. P. A. Modelagem dinâmica do desmatamento na Amazônia. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 14, n. 3, Curitiba, p. 370-391. 2008.

ZELEKE, G., HURNI, H. Implications and land use land cover dynamics for mountain resource degradation in the northwestern Ethiopian highlands. **Mountain Res. Dev.** 21, 2001

ZHANG, Y.; DEGROOTE, J.; WOLTER, C.; SUGUMARAN, R. Integration of modified universal soil loss equation (MUSLE) into a GIS framework to assess soil erosion risk. **Land degradation and development**: 84-91. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/ldr.893>>. 2009 Acesso em Nov 2020

WWF - WORLD WILDLIFE FUND. Perfil do Ecosistema: Hotspot de biodiversidade do Cerrado. **Critical Ecosystem. Partnership Fund**. 495 p. 2015.