



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO  
REGIONAL

**DANILLO SILVA NUNES**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA E USO DA  
TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO,  
TOCANTINS**

Palmas/TO  
2022

DANILLO SILVA NUNES

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA E USO DA  
TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO,  
TOCANTINS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Fernan Enrique Vergara Figueroa

Palmas/TO  
2022

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

---

N972a Nunes, Danilo Silva.  
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA E USO DA TERRA  
NA BACIA HIDROGRÁFICA RIO FORMOSO, TOCANTINS. / Danilo Silva  
Nunes. – Palmas, TO, 2022.  
98 f.  
Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins  
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em  
Desenvolvimento Regional, 2022.  
Orientador: Feman Enrique Vergara Figueroa  
1. Mudanças Ambientais. 2. Planejamento. 3. Transição de Paisagem. 4.  
Conflito pelo uso da Água. 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

DANILLO SILVA NUNES

## ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA E USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA RIO FORMOSO, TOCANTINS

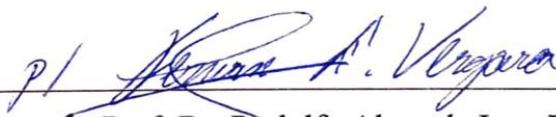
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 10/05/2022

Banca Examinadora



Prof. Dr. Fernán Enrique Vergara Figueroa, UFT



Prof. Dr. Rodolfo Alves da Luz, UFT



Prof.ª Dr.ª Conceição de Maria Albuquerque Alves, UnB

Palmas, 2022

*“A todos aqueles que não me deixaram  
desistir durante o percurso, que acreditaram  
em mim quando nem mesmo eu acreditava:  
aos familiares e amigos, dedico”*

*Não chores, meu filho; não chores, que a vida é luta renhida:  
**Viver é lutar.** A vida é combate, que os fracos abate,  
que os fortes, os bravos, só pode exaltar.*

*“Canção do Tamoio” – Gonçalves Dias (1823-1864)*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter permitido finalizar esta pesquisa em meio a tantas incertezas pessoais e sociais.

A minha família, representada de forma especial por meus pais Ana Leide e Edimar, meus irmãos Denyse, Daisy e Dhiêgo, e meus avôs Rita, Antônio, Manoel e Deuzuita (*in memoriam*) pelo imenso amor e incentivo durante esses anos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernán Enrique Vergara pela oportunidade em ser seu orientando, palavras de incentivo e sobretudo paciência e empatia com todas as minhas falhas pessoais.

À Prof.<sup>a</sup> Dra. Roberta Mara de Oliveira pelo compartilhamento de informações valiosas e a constante disponibilidade em ajudar a solucionar problemas operacionais na análise dos dados.

À Patrícia Resplandes e Pedro Araújo, pela gentil acolhida em sua propriedade em Lagoa da Confusão durante as idas a campo e à Família Almeida, em especial, Flora, Cláudio e Vitória, na minha última temporada em Palmas.

Aos colegas de turma pelos debates enriquecedores, em especial, Júlia Komka, Welma Melo, Viviane Leal e Tracy St. Louis.

Aos companheiros bolsistas da Rede de Pesquisa para Gestão de Alto Nível dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio Formoso – TO: Laura Paz, Pedro Henrique Furtado, Pedro Haddad, Kássio Henrique Aires e Arthur Junqueira, pelos momentos compartilhados.

Aos amigos Agemiro Júnior, Bruna de Almeida e Guenther Viana pela companhia em tempos de isolamento e apoio nos momentos de incerteza e ansiedade, e também aos amigos que mesmo na distância não deixaram sentir-me só: José Arthur Ibanhez, Maria Teresa Laet, Mateus Gouveia, Isvilaine Silva e Sanmylla Eufrásio.

À Universidade Federal do Tocantins, em especial ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional, pela oportunidade de aprimoramento humano e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Agência Nacional das Águas e Saneamento (ANA), no Programa de apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos – Pró-recursos Hídricos, chamada nº 16/2017, pela concessão de bolsa de mestrado durante toda a execução desta pesquisa.

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo compreender o processo de mudança de cobertura e uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (BHRF), sua relação com o planejamento territorial proposto no Plano de Bacia Hidrográfica (PBH-Formoso) e suas implicações ambientais. Para isso, foram utilizados os dados do mapeamento de cobertura e uso disponibilizado pela 5ª Coleção do Mapbiomas (2020), entre os anos de 2007 a 2019, a Base Cartográfica do estado do Tocantins e o Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso. O método consistiu na quantificação das classes temáticas, realização da transição anual por meio do software ArcGIS, análise utilizando a Matriz de Tabulação Cruzada proposta por Poncius-Jr et al. (2004), e comparação com o zoneamento ambiental estabelecido no Plano de Bacia e limite total da área de estudo. Foram identificadas nove classes de cobertura e uso da terra, sendo estas: formação savânica, pastagem, formação florestal, soja, formação campestre, lavouras temporárias, corpos hídricos, áreas não vegetadas e infraestrutura urbana, citadas em ordem de maior contribuição na paisagem da BHRF. Observou-se o decréscimo total das áreas naturais (campestre, florestal e savânica), onde apenas a formação florestal apresenta sutil recuperação a partir do ano de 2018, e aumento das áreas agrícolas (pastagem, lavouras temporárias e soja). Em média, anualmente, cerca de 3,04% da área total da bacia sofre algum tipo de alteração e 96,96% apresenta persistência de cobertura e uso. No contexto geral, as classes de pastagem e savânica são as que mais convertem e são convertidas em outros usos, demonstrando seu papel intermediário no contexto da bacia. As formações campestre e florestal foram as que mais perderam áreas proporcionalmente, demonstrando relativa passividade, enquanto que as lavouras temporárias e cultivo de soja são as principais beneficiadas, apresentando papel ativo na transformação do ambiente, ao passo que as demais classes pouco participaram do processo. No contexto interno às classes agrícolas, entre 2007 e 2013, as áreas de pastagem eram convertidas em sua maioria para lavouras temporárias, de modo que de 2013 a 2019, a principal beneficiada passou a ser o cultivo de soja, demonstrando a prevalência desse cultivo específico na região, ressaltando que seu crescimento principal se dá por esta vertente, sendo pouco expressivo o aumento sobre áreas naturais. No que tange as áreas naturais, a conversão marcante de áreas florestais em savânicas sugere possível impacto do contexto hidrogeológico e climático no crescimento de espécies mais resistentes ao déficit hídrico. O zoneamento estabelecido no PBH-Formoso teve pouca influência no processo de transição, visto que nas áreas de alta utilização agrícola houve manutenção quantitativa das áreas naturais e nas zonas proteção, estas áreas foram reduzidas. Desta forma, sugere-se a revisão do PBH-Formoso que contemple zoneamento ambiental que leve em consideração os usos pré-existentes e seu comportamento, a definição de áreas de interesse ambiental com base na diversidade ecológica e propensão a recarga de aquíferos, instituição de mecanismos que ponderem a relação de poder entre os atores e sua efetiva participação no processo de decisão para compatibilização dos conflitos.

**Palavras-chaves:** Mudanças Ambientais; Planejamento; Transição de paisagem.

## ABSTRACT

The present study aimed to understand the process of change in land use and land cover in the Rio Formoso River Basin (BHRF), its relationship with the territorial planning proposed in the Watershed Plan (PBH-Formoso) and its environmental implications. For this, data from the coverage and use mapping provided by the 5th Collection of Mapbiomas (2020), between the years 2007 to 2019, the Base Cart of the state of Tocantins and the Rio Formoso Watershed Plan were used. The method consisted of quantifying the thematic classes, performing the annual transition through ArcGIS software, analysis using the Cross Tabulation Matrix proposed by Poncius-Jr et al. (2004), and comparison with the environmental zoning established in the Watershed Plan and the total limit of the study area. Nine classes of land cover and use were identified, namely: savanna formation, pasture, forest formation, soybean, grassland formation, temporary crops, water bodies, non-vegetated areas and urban infrastructure, cited in order of greatest contribution to the BHRF landscape. There was a total decrease in natural areas (grassland, forest and savanna), where only the forest formation shows a subtle recovery from the year 2018, and an increase in agricultural areas (pasture, temporary crops and soybeans). On average, annually, about 3.04% of the total area of the basin undergoes some type of alteration and 96.96% shows persistence of coverage and use. In the general context, the classes of pasture and savanna are the ones that most convert and are converted into other uses, demonstrating their intermediate role in the context of the basin. The grassland and forest formations were the ones that proportionally lost the most areas, demonstrating relative passivity, while the temporary crops and soybean cultivation are the main beneficiaries, playing an active role in the transformation of the environment, while the other classes participated little in the process. In the internal context of the agricultural classes, between 2007 and 2013, the pasture areas were mostly converted to temporary crops, so that from 2013 to 2019, the main beneficiary became the cultivation of soybeans, demonstrating the prevalence of this specific crop in the region, emphasizing that its main growth is due to this aspect, with little expressive increase over natural areas. Regarding natural areas, the marked conversion of forested areas into savannas suggests a possible impact of the hydrogeological and climatic context on the growth of species that are more resistant to water deficit. The zoning established in PBH-Formoso had little influence on the transition process, since in areas of high agricultural use there was quantitative maintenance of natural areas and in protection zones, these areas were reduced. Thus, it is suggested to review the PBH-Formoso that includes environmental zoning that takes into account pre-existing uses and their behavior, the definition of areas of environmental interest based on ecological diversity and propensity to recharge aquifers, institution of mechanisms that consider the power relationship between actors and their effective participation in the decision-making process to reconcile conflicts.

**Key-words:** Environmental Changes; Planning; Landscape transition.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Relação entre atividades humanas e cobertura e uso da terra,.....	22
Figura 2 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	29
Figura 3 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso. ....	30
Figura 4 - Mapa das sub-bacias com respectivas áreas e percentual de participação na Bacia do Rio Formoso. ....	32
Figura 5 - Espacialização da temperatura média, precipitação e evapotranspiração na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, Tocantins. ....	33
Figura 6 - Exemplificação da função "Combinatorial Or" do <i>software</i> ArcGIS (ESRI). ....	35
Figura 7 - Participação das classes de cobertura e uso da terra na BHRF, entre 2007 e 2019. ....	38
Figura 8 - Representação gráfica das áreas de Infraestrutura Urbana na BHRF entre 2007 e 2019. ....	39
Figura 9 - Representação gráfica das áreas de Lavouras Temporárias na BHRF entre 2007 e 2019. ....	41
Figura 10 - Representação gráfica das áreas de Cultivo de Soja na BHRF entre 2007 e 2019. ....	42
Figura 11 - Representação gráfica das áreas de Pastagem na BHRF entre 2007 e 2019. ....	43
Figura 12 - Representação gráfica das áreas de Formação Savânica na BHRF entre 2007 e 2019. ....	45
Figura 13 - Representação gráfica das áreas de Formação Florestal na BHRF entre 2007 e 2019. ....	46
Figura 14 - Representação gráfica das áreas de Formação Campestre na BHRF entre 2007 e 2019. ....	46
Figura 15 - Representação gráfica dos corpos hídricos na BHRF entre 2007 e 2019.....	47
Figura 16 - Representação gráfica das áreas não vegetadas na BHRF entre 2007 e 2019.....	48
Figura 17 - Zoneamento Ambiental proposto pelo Plano da Bacia do Rio Formoso.....	51
Figura 18 - Dinâmica de transição de cobertura e uso da terra para os anos de 2007 - 2008 e 2008 - 2009.....	61
Figura 19 - Dinâmica de transição de cobertura e uso da terra para os anos de 2009 - 2010 e 2010 - 2011.....	63
Figura 20 - Dinâmica de transição de cobertura e uso da terra para os anos de 2011 - 2012 e 2012 - 2013.....	65

Figura 21 - Dinâmica de transição de cobertura e uso da terra para os anos de 2013 - 2014 e 2014 - 2015.....	68
Figura 22 - Dinâmica de transição de cobertura e uso da terra para os anos de 2015 - 2016 e 2016 - 2017.....	70
Figura 23 - Dinâmica de transição de cobertura e uso da terra para os anos de 2017 - 2018 e 2018 - 2019.....	73
Figura 24 - Linha do tempo com principais marcos na transição de cobertura e uso na Bacia do Rio Formoso. ....	74
Figura 25 - Hierarquização das classes de acordo conversão de áreas (perdas e ganhos) nos períodos de 207 a 2013 e 2013 a 2018. ....	78
Figura 26 - Proporção das principais dinâmicas de transição no o período de 2007 a 2013....	79
Figura 27 - Proporção das principais dinâmicas de transição no o período de 2013 a 2018....	79
Figura 28 - Representação gráfica das áreas de Cultivo de Soja Irrigada na BHRF entre 2007 e 2019. ....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Bancos de dados matriciais e vetoriais consultados .....	34
Tabela 2 - Matriz geral de tabulação cruzada para comparar dois mapas de diferentes pontos no tempo. ....	36
Tabela 3 - População dos municípios com sede inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, nos anos 2007 e 2019. ....	39
Tabela 4 - Quantitativo do rebanho bovino ( <sup>x</sup> 1000) e taxa de variação nos municípios <sup>1</sup> com área efetiva na BHRF. ....	43
Tabela 5 - Área das zonas segundo as classes de solos e capacidade de uso na bacia do Rio Formoso. ....	50
Tabela 6 - Cobertura e uso da terra em valor absoluto e percentual de acordo zonas estabelecidas pelo zoneamento do plano de bacia para o ano de 2007. ....	53
Tabela 7 - Cobertura e uso da terra em valor absoluto e percentual de acordo zonas estabelecidas pelo zoneamento do plano de bacia para o ano de 2019. ....	53
Tabela 8 - Variação percentual (%) entre os anos de 2007 e 2019, de acordo classe do zoneamento da bacia hidrográfica do rio formoso. ....	53
Tabela 9 - Valores de permanência e alteração de cobertura e uso da terra na Bacia do Rio Formoso de 2007 a 2019. ....	59

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BHRF	Bacia Hidrográfica do Rio Formoso
PBH	Plano de Bacia Hidrográfica
PBH-Formoso	Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso
PPGDR	Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional
SEMARH/TO	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins
UFT	Universidade Federal do Tocantins
ZAUA	Zona de Alta Utilização Agrícola
ZAUAR	Zona de Alta Utilização Agrícola Restrita
ZBAU	Zona de Baixa Utilização Agrícola
ZPA	Zona de Proteção Ambiental

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
3.1 SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO .....	19
3.2 COBERTURA E USO DA TERRA.....	20
3.3 PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NO BRASIL (MAPBIOMAS) .....	23
3.4 BACIA HIDROGRÁFICA .....	24
3.5 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE GESTÃO TERRITORIAL .....	25
4. METODOLOGIA.....	29
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	30
4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	34
4.2.1 Aquisição de Dados Vetoriais e Matriciais .....	34
4.2.2 Processo de Análise .....	34
4.2.3 Elaboração da Cartografia Final .....	36
5. CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO.....	37
5.1 ÁREAS ANTRÓPICAS NÃO AGRÍCOLAS: INFRAESTRUTURA URBANA.....	38
5.2 ÁREAS ANTRÓPICAS AGRÍCOLAS: LAVOURAS TEMPORÁRIAS, CULTIVO DE SOJA E PASTAGEM.....	40
5.3 ÁREAS DE VEGETAÇÃO NATURAL: FORMAÇÕES FLORESTAL, SAVÂNICA E CAMPESTRE.....	44
5.4 CORPOS HÍDRICOS.....	47
5.5 OUTRAS ÁREAS .....	48
6. ZONEAMENTO PROPOSTO PELO PLANO DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO.....	49
6.1 ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL ...	49
7. DINÂMICA DE TRANSIÇÃO DE CLASSES DE COBERTURA E USO DA TERRA .	59
8. CONSIDERAÇÕES SOBRE USO DA TERRA E CONFLITOS DE USO DA ÁGUA NO CONTEXTO DA BHRF .....	80
9. CONCLUSÃO.....	85
REFERÊNCIAS .....	87
APÊNDICES .....	93

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem posição privilegiada no mundo em relação à disponibilidade de recursos hídricos. A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de cerca de 180 mil  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , e conta com aproximadamente 12% do volume total de água doce disponível no planeta (MARENGO, 2008). Apesar disso, o país não pode deixar de lado as ações relacionadas ao uso sustentável dos recursos hídricos e se omitir da discussão sobre os múltiplos usos da água. A questão ganhou força por conta da estiagem que atingiu o país entre 2014 e 2016 e comprometeu o abastecimento de água em diversas cidades (ANA, 2017).

Em 08 de janeiro de 1997, foi aprovada no Brasil a Lei Federal nº 9.433, conhecida como Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, onde uma de suas diretrizes é garantir o uso múltiplo das águas de maneira que todos os setores usuários tenham igualdade de acesso aos recursos hídricos. A única exceção dessa regra está relacionada a situações de escassez, quando o uso prioritário da água passa a ser o consumo humano e a dessedentação de animais.

As diretrizes gerais de ação proposta na legislação, estabelecem, dentre outros tópicos, a gestão sistemática dos recursos hídricos sem dissociar aspectos de quantidade e qualidade, a articulação do planejamento de recursos hídricos com os setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional e ainda, a articulação recursos hídricos e uso do solo (BRASIL, 1997).

Destaca-se o papel integrador para gestão de recursos de hídricos, no âmbito da articulação União e Estados/Distrito Federal, estabelecendo que os Planos de Recursos Hídricos são elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o país (BRASIL, 1997). Deste modo, o Estado do Tocantins, por meio da lei estadual nº 1.307 de 22 de março de 2002, promulgou Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH).

São estabelecidos como instrumentos da PERH, o Plano Estadual de Recursos Hídricos, os Planos de Bacia Hidrográfica, outorga de direito de uso, cobrança de taxa, compensação aos municípios, Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos e a Educação Ambiental (TOCANTINS, 2002).

De acordo o Atlas da Irrigação elaborado pela Agência Nacional das Águas em 2017, a irrigação é uma prática da agricultura adotada para suprir a deficiência total ou parcial da água utilizada para a produção. A agricultura irrigada é o uso que mais consome água no Brasil e no mundo e em nosso país, a prática obteve forte expansão com o apoio de políticas públicas a partir das décadas de 1970 e 1980 (ANA, 2017).

Nesse cenário, surge o Projeto de Irrigação Rio Formoso, implantado em 27 de novembro de 1979 e sendo o pioneiro no país na utilização de sistemas de irrigação do tipo inundação e subirrigação. Com uma área de 27 mil hectares para cultivo de arroz irrigado no período chuvoso e soja (produção de semente) no período da seca (entressafra) (SILVA, 2015).

Elaborado em 2007, o Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (PBH-Formoso) partiu da premissa de ser um meio para iniciar, mobilizar e incentivar o processo de discussão sobre a gestão participativa e descentralizada das águas junto à comunidade inserida no âmbito da bacia hidrográfica, entendida esta como a unidade físico-territorial de planejamento e gestão das águas (TOCANTINS, 2007).

A relevância e o potencial de desenvolvimento socioeconômico da bacia do Rio Formoso encontram-se confrontados pela persistente e gradual ocorrência de escassez hídrica ao longo de pelo menos uma década. Os estudos contemporâneos não apresentam conclusões definitivas acerca da causa específica desse fenômeno, uma vez que sua compreensão é dificultada pela complexidade dos processos hidrológicos na região. No entanto, destaca-se a incidência de baixas precipitações pluviométricas na área, bem como as alterações no uso e ocupação do solo, e a expansão de barramentos e captações (IAC/UFT, 2018).

No ano de 2016 a situação tornou-se tão emergencial que o órgão gestor de recursos hídricos no Estado, o Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), suspendeu as outorgas para captação pelo período de 04 meses, abrangendo os corpos d'água encontrados em situação crítica quanto à vazão e destacando, em seu art. 2º, a suspensão em todas as sub-bacias do Rio Formoso.

Entretanto, a situação de escassez não se restringe exclusivamente à BHRF. As prolongadas estiagens recentemente registradas em todo o bioma do Cerrado têm desempenhado um papel significativo no incremento das disputas relacionadas ao uso da água. Tais conflitos tendem a se intensificar nessa região, que, desde a década de 1970, é reconhecida como a fronteira agrícola do país, respondendo por aproximadamente 70% da produção nacional de alimentos (SILVA et al. 2015). Além disso, a agricultura irrigada, principal usuária dos recursos hídricos, está em expansão na região (FERREIRA et al, 2021).

A análise de mudança de uso do solo é útil no planejamento e gestão da ocupação do ambiente físico. Os estudos sobre o assunto permitem aos gestores intervirem em determinado local a fim de otimizar o uso desse território e, conseqüentemente, minimizar os impactos ambientais decorrentes da ocupação desordenada (CALJURI et al, 2015).

No contexto de uma bacia hidrográfica, a cobertura e uso da terra tem influência em diferentes compartimentos ambientais. A conversão de áreas naturais em agricultura, por

exemplo, tem influência direta nos componentes do ciclo hidrológico como infiltração, escoamento superficial e evapotranspiração, que, por sua vez, modificam o comportamento do escoamento na bacia, podendo também comprometer a qualidade da água (CALIJURI et al, 2015).

Introduzido o contexto socioeconômico, político e ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, e, considerando a relação preconizada em legislação sobre “uso da terra e recursos hídricos”, surgem indagações do tipo:

- I. Qual a dinâmica cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Formoso?
- II. Como os instrumentos de gestão territorial desenvolvidos no âmbito do poder público influenciaram a dinâmica de cobertura e uso da terra?
- III. Além dos instrumentos de gestão territorial e dos recursos hídricos, quais outras variáveis podem ter tido influência no processo?

O presente estudo realizou-se dentro dos limites da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, tendo como horizonte temporal os anos de 2007 a 2019, sendo o primeiro o ano de publicação do Plano de bacia Hidrográfica PBH-Formoso e o segundo, o início do desenvolvimento desta pesquisa, com base na disponibilização de dados.

Contextualizado o cenário de escassez de recursos hídricos na BHRF, ainda sem explicação conclusiva a respeito da causa imediata, bem como os consequentes conflitos pelo uso da água, a importância econômica e estratégica da região em esfera nacional e as alterações regionais no ambiente físico e socioeconômico, esta pesquisa busca ser um instrumento de auxílio na tomada de decisão em debates sobre o desenvolvimento futuro da região.

Esta dissertação está organizada seções, além desta introdução, que contemplam os objetivos geral e específicos (seção 2), o referencial teórico (seção 3), a metodologia (seção 4), os resultados e discussão (seções de 5 a 8).

A seção 5 apresenta os dados quantitativos das classes de cobertura e solo da terra entre 2007 – 2019 e as inferências iniciais a respeito do quantitativo e taxa de crescimento isolada de cada unidade. A seção 6 discute o zoneamento proposto pelo plano de bacia hidrográfica e apresenta a primeira matriz de transição entre 2007 e 2019, correspondente a cada zona.

A seção 7 mostra a dinâmica de transição das classes ano a ano para toda a bacia hidrográfica do Rio Formoso e discute a interação entre as principais classes. A seção 8 traz considerações acerca do uso da terra e conflitos sobre uso da água no contexto da bacia e a seção 9 com as considerações finais deste estudo, seguido das referências e apêndice.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Compreender o processo de mudança de cobertura e uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, sua relação com o planejamento territorial proposto no Plano de Bacia Hidrográfica e suas implicações ambientais.

### **2.2 Objetivos Específicos**

1. Estabelecer as matrizes de transição das classes de cobertura e uso da terra para a Bacia Hidrográfica do Rio Formoso entre 2007 a 2019.
2. Analisar a influência do zoneamento proposto pelo Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso na dinâmica de transição de áreas de cobertura e uso da terra.
3. Contribuir com o processo de tomada de decisão acerca do planejamento territorial com base na trajetória de evolução de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como um conjunto de técnicas que empregam ao mesmo tempo sensores, equipamentos para processamento e transmissão de dados com o objetivo de estudar processos, eventos ou fenômenos que ocorrem com um determinado objeto de interesse. Sensores distintos proveem informações para diferentes usos, de acordo com suas respectivas resoluções espacial, temporal, radiométrica e espectral (COSTA, 2018).

Imagens de sensoriamento remoto são frequentemente utilizadas para mapeamentos temáticos de cobertura e uso da terra. Nesse sentido, podemos destacar os dados do programa Landsat, que possui uma série histórica longa com dados a partir de 1972 (USGS, 2017).

A utilização de dados de sensoriamento remoto tem crescido em todo mundo, tendo como vantagens de sua utilização a possibilidade de estimar variáveis geofísicas ou biofísicas como, por exemplo, posição, altura/profundidade, temperatura, biomassa, concentração de sedimentos, umidade do solo; modelagem de processos naturais: mudanças climáticas, eutrofização, desertificação, desastres naturais; ou causados pelo homem: desflorestamento, poluição, expansão urbana; e diversas outras aplicações (SOUZA, 2010).

O aprimoramento das tecnologias computacionais trouxe grande avanço no que tange a facilidade de acesso e possibilidades de aplicação dos dados de sensoriamento remoto. As primeiras tentativas de automatizar o processamento de dados teve como entraves o alto custo de computadores e mão de obra extremamente especializada e cara, que foram superados com a popularização dos microcomputadores, ampliação da velocidade e armazenamento, possibilitando a organização dos dados geográficos em sistema estruturado e cunhando o termo Geographic Information System – GIS (Sistema de Informação Geográfica – SIG) (CÂMARA;DAVIS, 2001)

A utilização de instrumentos computacionais do geoprocessamento, como o Sistema de Informações Geográficas (SIG), possibilita a realização de diversas análises espaciais, com custos relativamente mais baixo do que pesquisas e levantamentos de campo, o que o torna útil sua aplicação, principalmente, em países com extensa dimensão territorial (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Dentre as vantagens da realização de estudos utilizando o SIG, cita-se: a facilidade de obtenção e recuperação de dados; descoberta e exibição de informações obtidas pela observação da interação entre os atributos de localização e uso da terra; capacidade de processar uma grande quantidade de dados para avaliação espacial; capacidade de fazer mudanças de escala e projeção, remover distorções e realizar rotação e translação de coordenadas; análise das relações espaciais através da aplicação de modelos empíricos e quantitativos, dentre outros (CHAN, 2011).

A técnica de álgebra de mapas é uma aplicação prática dos Sistemas de Informações Geográficas vinculada ao geoprocessamento, onde são utilizados mapas temáticos diversos para a realização de análises de cunho espacial. Cada mapa utilizado constitui um Plano de Informação (PI) contendo um tema específico, que é sobreposto a outro que tenha as mesmas dimensões, porém com temática diferente, para obter um produto derivado dos PIs de origem (FITZ, 2008).

O sensoriamento remoto e geoprocessamento são ferramentas frequentemente utilizados para monitorar a dinâmica de uso e cobertura do solo, principalmente devido a frequência de atualização de dados, agilidade no processamento e viabilidade econômica (VAEZA et al., 2010).

### **3.2 Cobertura e Uso da Terra**

O conhecimento sobre cobertura e uso da terra tornou-se cada vez mais importante à medida que gestores públicos planejam superar os problemas de desenvolvimento desordenado e descontrolado, deterioração da qualidade ambiental, perda de terras agrícolas privilegiadas, destruição de zonas de interesse ambiental, dentre outros. Os dados de uso da terra são necessários na análise de processos e problemas ambientais que devem ser compreendidos para analisar se as condições e padrões de vida devem ser melhorados ou mantidos nos níveis atuais (RAJU; HEDGE; HEDGE, 2018).

O uso da terra é definido como um conjunto de atividades desenvolvidas pelos seres humanos com o objetivo de se obter um produto ou benefício por meio da manipulação dos atributos e recursos biofísicos da terra. A cobertura da terra, por sua vez, refere-se ao estado biofísico da superfície, ou seja, como o próprio nome sugere, por aquilo que recobre a terra (TURNER-II et al., 1995; LAMBIN; GEIST, 2006).

A mudança na cobertura da terra pode ocorrer pela conversão ou modificação. A conversão ocorre pela alteração de uma cobertura por outra, como por exemplo, floresta por pastagem. Já a modificação ocorre sem a substituição de uma cobertura por outra, e dá-se pelas alterações estruturais e fenológicas, como no caso de vegetação decídua, que em períodos chuvosos apresentam um dossel verde e fechado, ao passo que em períodos secos perdem suas folhas (BRIASSOULIS, 2000).

A detecção de mudanças de cobertura e uso da terra é uma ferramenta amplamente utilizada no estudo dos efeitos do desenvolvimento de atividades humanas sobre recursos naturais, auxiliando na compreensão da expansão dessas atividades e colaborando com o planejamento adequado para usos futuros das áreas remanescentes (SHIVPUJE. et al, 2016).

A compreensão das transições de uso e cobertura da terra é crucial, uma vez que os impactos mais profundos geralmente ocorrem durante períodos de mudança entre diferentes estados e a depender da escala, podem trazer consequências locais, como alteração da qualidade da água, ou regionais, a exemplo da alteração do ciclo de carbono e mudanças climáticas, com reflexos nos sistemas socioeconômicos (CHHABRA et al, 2006).

Ao estudar esses processos, observa-se que múltiplos impactos podem se sobrepor e reforçar uns aos outros ou mesmo, em alguns casos, mitigar e/ou cancelar os efeitos negativos. Isso implica na existência de vários impactos multidirecionais nos ecossistemas e na esfera socioeconômica (CHHABRA et al, 2006), mas considerando também que nem todos os impactos são considerados irreversíveis (MUSTARD et al, 2004).

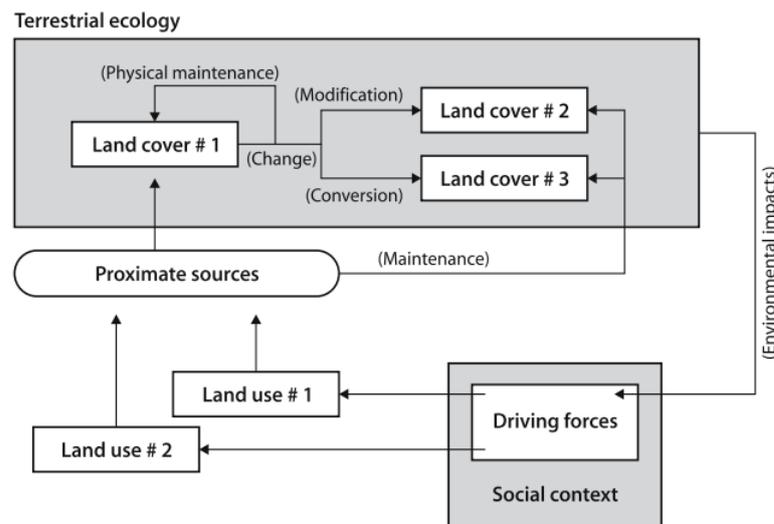
A compreensão dos padrões de uso da terra e mudanças na cobertura da terra aumentou significativamente nos últimos tempos, facilitado em parte pelo aumento da conscientização sobre o tema e pela execução de estudos direcionados à compreensão da natureza da transição. Esses estudos fizeram avanços significativos para aprofundar a compreensão dos impulsionadores socioeconômicos, bem como a relação e os impactos nos sistemas naturais e humanos (MUSTARD et al, 2012).

Dado ao número de estudos de caso que já foram realizados, atualmente é possível analisar os resultados obtidos para avaliar se existem padrões fundamentais de mudança de cobertura e uso da terra que aparecem consistentemente, independentemente da localização global, organização social, estado econômico e outros fatores, relacionando-os em padrões gerais (MUSTARD et al, 2012).

De modo geral, a mudança no uso da terra é impulsionada por combinações de fatores sinérgicos, como a escassez de recursos, levando a um aumento na pressão da produção em outros ambientes; mudanças nas oportunidades criadas pelos mercados, intervenção política interna e externa, perda de capacidade adaptativa e mudanças na organização social e na postura dos atores (LAMBIN; GEIST; LEPERS, 2003).

Identificar os fatores causadores requer uma compreensão de como as pessoas tomam decisões de uso da terra e como vários fatores (incluindo o cenário biofísico e as mudanças nele) interagem em contextos específicos em escala local, regional ou global para influenciar a tomada de decisão sobre o uso da terra. As ligações entre as atividades humanas e as mudanças no uso/cobertura da terra, foram conceituadas por Turner et al. (1993), com ilustração demonstrada na figura 1.

Figura 1 - Relação entre atividades humanas e cobertura e uso da terra,



Fonte: Turner, 1993 *apud* Ojima et al., 1994.

A escala espaço-temporal de análise afeta fortemente os resultados. Uma escala espacial muito grande (por exemplo, continental) falhará em capturar as inter-relações importantes entre os processos e, portanto, não terá especificidade, enquanto uma escala muito pequena (por exemplo, um pequeno povoado) não abrangerá um número suficiente de inter-relações para entender a região. Da mesma forma, uma escala temporal curta pode perder a dinâmica humana-ambiente passada que remodelou a própria paisagem em estudo (MUSTARD et al, 2012).

A respeito da escala espacial, o IBGE (2013) prevê o alcance de diferentes tipos de usuário e propósitos a partir da reprodução da informação em diferentes níveis de detalhamento para tomada de decisão. Mapeamentos exploratórios (escalas entre 1:750.000 a 1: 2.500.000),

por exemplo, são úteis no preparo de programas nacionais de desenvolvimento; mapeamentos de reconhecimento variam de acordo com a intensidade dos trabalhos (escalas entre 1:50.000 até 1:750.000) e atendem ampla faixa de objetivos, do planejamento nacional e regional ao estadual e de bacias hidrográficas, enquanto que os mapeamentos em maiores escalas (igual ou acima de 1: 50 000), abrangem diferentes intensidades de detalhamento, atendendo a problemas específicos, a decisões localizadas e se restringem a pequenas áreas.

O uso da terra é a soma das causas imediatas da mudança da cobertura da terra, ou seja, atividades humanas ou ações imediatas que se originam da manipulação pretendida da cobertura da terra. Causas diretas envolvem uma ação física sobre a cobertura da terra e geralmente são limitadas a um conjunto recorrente de atividades como agricultura (ou expansão agrícola), silvicultura (ou extração de madeira) e construção de infraestrutura. As causas diretas geralmente operam em nível local, por exemplo, de fazendas individuais, famílias ou comunidades (GEIST et al, 2006).

As causas indiretas são forças fundamentais que colaboram com as circunstâncias de ação direta. Elas atuam de forma difusa, muitas vezes alterando uma ou mais causas diretas, sendo formadas por um complexo de variáveis sociais, políticas, econômicas, demográficas, tecnológicas, culturais e biofísicas que constituem condições estruturais nas relações homem-ambiente. Em contraste com as causas diretas, as forças motrizes indiretas podem se originar do nível regional (distritos, estados ou nacional), ou mesmo global, com interações complexas entre os níveis de organização (GEIST et al, 2006).

Os estudos que utilizam como base as mudanças de cobertura e uso para realização de inferências e correlação com variáveis do ambiente físico e/ou socioeconômico são diversificados, a exemplo: clima (CARRASCO et al., 2020; TAGLIARI et al., 2021); serviços ambientais e ecossistêmicos (GOMES et al., 2020; MACHADO et al., 2019); hidrologia (VIOLA et al., 2014; SANTOS et al., 2022); diversidade biológica (SARTO, et al. 2020; MENEZES-OLIVEIRA et al., 2021), planejamento e prospecção de cenários (ABBT-BRAUN et al, 2012; OLIVEIRA et al., 2019); dentre outros.

### **3.3 Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MAPBIOMAS)**

O Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MAPBIOMAS) é uma iniciativa que visa contribuir para o entendimento da dinâmica do uso do solo no Brasil e em outros países tropicais, tendo como base o desenvolvimento e

implementação de uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo do Brasil a partir de 1985 (MAPBIOMAS, 2021).

O MapBiomias foi originalmente projetado para preencher lacunas nas estimativas de emissões de gases de efeito estufa do setor de mudança de uso/cobertura da terra no Brasil. No entanto, outras aplicações científicas podem ser derivadas com um histórico anual de séries temporais, incluindo, mapeamento e quantificação das transições uso/cobertura da terra; quantificação de perdas e ganhos brutos e líquidos de cobertura florestal, monitoramento da expansão da agricultura e pastagens, planejamento regional, dentre outros (MAPBIOMAS, 2021).

Os produtos elaborados pelo Mapbiomas são separados por biomas e temas transversais. A classificação adotada pelo sistema é uma referência cruzada entre as classes de cobertura e uso adotadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Food and Agriculture Organization (FAO) (SOUZA et al., 2020).

A etapa de sensoriamento remoto é composta pela aquisição de dados de Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) e Operational Land Imager (OLI) Landsat sensors, on board Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8. No pré-processamento, são construídos os mosaicos das imagens Landsat e aplicado o algoritmo Temporal Dark Outlier Mask (TDOM) para áreas de nuvens e sombras, com processamento no Google Earth Engine (SOUZA et al, 2020).

Após a construção e análise preliminar pixel a pixel, os dados são classificados utilizando algoritmo seguido de filtro objetivando eliminar o efeito de borda, pixels isolados e transições impossíveis, aplicando regras de vizinhança e temporalidade. A classificação obtida é então revisada por grupos específicos direcionados aos biomas, onde pelo menos três interpretes independentes são avaliadores (SOUZA et al., 2020).

### **3.4 Bacia Hidrográfica**

No que concerne a definição do conceito de bacias hidrográficas na literatura, resumidamente, estes seguem segue duas linhas principais: as de caráter físico, que consideram os aspectos atuantes na sua formação e funcionamento; e as de caráter integrador e dinâmico, com uma interrelação entre os aspectos físico-ambientais e socioeconômicos (FARIAS; SILVA, 2015).

Com enfoque na fase terrestre do ciclo hidrológico, Silveira (1997, p. 40) definiu bacia hidrográfica como uma *“área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída, seu exutório”*, e no que tange aos seus elementos *“compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório”*.

A definição é semelhante a apresentada por Barella et al. (2000), a unidade pode ser descrita como conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água. As águas das chuvas ou escoam superficialmente formando os riachos e os rios ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

Partindo da descrição física dos fatores geomorfológicos, Lima e Zakia (2000) ampliaram o conceito, descrevendo como um sistema aberto que recebe energia através de agentes climáticos e perde por meio do deflúvio, podendo ser descrita em termos de variáveis interdependentes que oscilam em torno de um padrão buscando um equilíbrio dinâmico.

Nas palavras de Rodrigues e Adami (2005, p. 57), bacia hidrográfica é descrita como:

Sistema que compreende um volume de materiais, predominantemente sólidos e líquidos, próximos a superfície terrestre, delimitado interna e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais. Inclui, portanto, todos os espaços de circulação, armazenamento e saídas de água e do material por ela transportado, que mantém as relações com esses canais.

Para Nascimento (2012) com base no número de elementos e variáveis, bacia hidrográfica é um sistema complexo interligado por meio de ciclos de transformação, autoajuste, dissipação e novamente auto-organização com produção de entropia. As relações mútuas entre seus elementos possibilitam a análise integrada do ambiente, auxiliando em uma acurada avaliação dos aspectos físicos, econômicos e sociais.

### **3.5 Bacia Hidrográfica como Unidade de Gestão Territorial**

As bacias hidrográficas podem ser caracterizadas como unidades territoriais quando configuram uma apropriação de partes do espaço para um determinado fim (LAMONICA, 2004). A como unidade de análise para estudos de planejamento justifica-se pela importância dos recursos hídricos, e ainda, pela riqueza de variáveis que contempla (FARIAS; SILVA, 2015).

Os processos inerentes a uma bacia hidrográfica ao longo do tempo podem ocorrer, resumidamente, por dois fatores, sendo eles de ordem natural, responsáveis pela pré-disposição

do meio a alteração, e antrópicos, onde as atividades humanas interferem de forma direta ou indireta nos compartimentos ambientais (VILAÇA et al, 2009).

A delimitação espacial da bacia hidrográfica, elaborada tendo como limite os interflúvios (divisores de água) entre corpos hídricos, combinando dados morfométricos que permitem a diferenciação de áreas (ANTONELI; THOMAZ, 2007), possibilita a análise sistêmica dos fatores e relações ambientais, sociais e econômicos internos e externos, colaborando com a visão estratégica com fins de planejamento (CARVALHO, 2020).

A concepção do recorte territorial das bacias hidrográficas aplicadas a gestão ganhou notoriedade internacional no início dos anos 1990 (CASTRO, 2012), quando foram firmados os Princípios de Dublin, em especial o princípio nº 1 *“a gestão eficaz dos recursos hídricos exige uma abordagem holística, ligando o desenvolvimento social e econômico à proteção dos ecossistemas naturais. A gestão eficaz liga os usos da terra e da água em toda a área de captação ou aquífero subterrâneo”* (WMO, 1992, p. 4).

No contexto do planejamento territorial, as bacias hidrográficas são tidas como a unidade básica de análise para o desenvolvimento de ações e medidas estruturais e não estruturais, objetivando a integração entre a gestão dos recursos hídricos e gestão ambiental (CARVALHO, 2020), tendo esse recorte sido instituído no Brasil pela PNRH (BRASIL, 1997).

As diretrizes gerais de ação proposta na PNRH, estabelecem, dentre outros tópicos, a gestão sistemática dos recursos hídricos sem dissociar aspectos de quantidade e qualidade, a articulação do planejamento com os setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional e ainda, a articulação recursos hídricos e uso do solo (BRASIL, 1997).

Destaca-se o papel integrador para gestão de recursos de hídricos, no âmbito da articulação União e Estados/Distrito Federal, estabelecendo que os Planos de Recursos Hídricos são elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o país (BRASIL, 1997). Deste modo, o Estado do Tocantins, por meio da Lei Estadual nº 1.307 de 22 de março de 2002, promulgou Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH).

A legislação em questão, estabelece diversas entidades como parte integrante do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos<sup>1</sup>, de modo que os Comitês de Bacia

---

<sup>1</sup>Lei Estadual nº 1.307/2002 - Art. 31. O Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos tem a seguinte estrutura operacional: I - Conselho Estadual de Recursos Hídricos; II - Comitês de Bacia Hidrográfica; III - Agências de Bacia Hidrográfica; IV - órgãos dos poderes públicos estadual e municipais cujas competências se relacionem com a gestão dos recursos hídricos (TOCANTINS, 2002)

Hidrográfica, entidade com atribuições normativa, deliberativa e consultiva são responsáveis por apreciar os Planos de Bacia elaborados pelas Agências de Bacia Hidrográfica (TOCANTINS, 2002).

As representações espaciais das bacias hidrográficas na condição de unidades funcionais de planejamento contemplam diversas variáveis, as quais ao interagirem, colaboram para que sejam definidas unidades de planejamento territorial/ambiental adequadas, superando a abordagem inicial de gerenciamento dos recursos hídricos, apenas. Ao formar uma unidade natural indissociável e interatuante, as bacias hidrográficas contribuem para melhor aproveitamento da capacidade de suporte dos recursos naturais no ordenamento territorial (NASCIMENTO, 2012).

Diversos trabalhos tiveram como objeto de pesquisa a relação do planejamento territorial em bacias hidrográficas, utilizando diversas abordagens que mesclam conhecimento das áreas de exatas e humanas, com diferentes enfoques, tais como: propensão a erosão e perda de solo (OLIVEIRA, et al. 2011; REAL et al, 2020; GOUMRASA et al, 2021; WU et al. 2021); risco de eventos hidrológicos extremos (LIU et al., 2017; ADNAN, et al. 2019); áreas de interesse ambiental (SOARES et al, 2012; OSUNA et al., 2014; MAGDALENA et al., 2022); desenvolvimento ordenado (WANG et al., 2019; MASOUDI et al., 2021; NABATI et al., 2022); dentre diversos outros.

Utilizando critérios voltados para o meio ambiente físico, Manfré et al (2011), avaliaram três diferentes modelos de zoneamento aplicado a bacias hidrográficas, tendo como dados de entrada declividade, dissecação do relevo, solos, cobertura e uso da terra e climatológicos. Os autores consideraram que a utilização dos métodos é importante no processo de tomada de decisão, uma vez que o produto de saída, por utilizar diversas variáveis, evidencia melhor determinadas características da área de estudo, destacando ainda que as especificidades de cada bacia devem ser levadas em consideração para escolha do melhor método e a limitação ao não utilizar dados econômicos e demográficos.

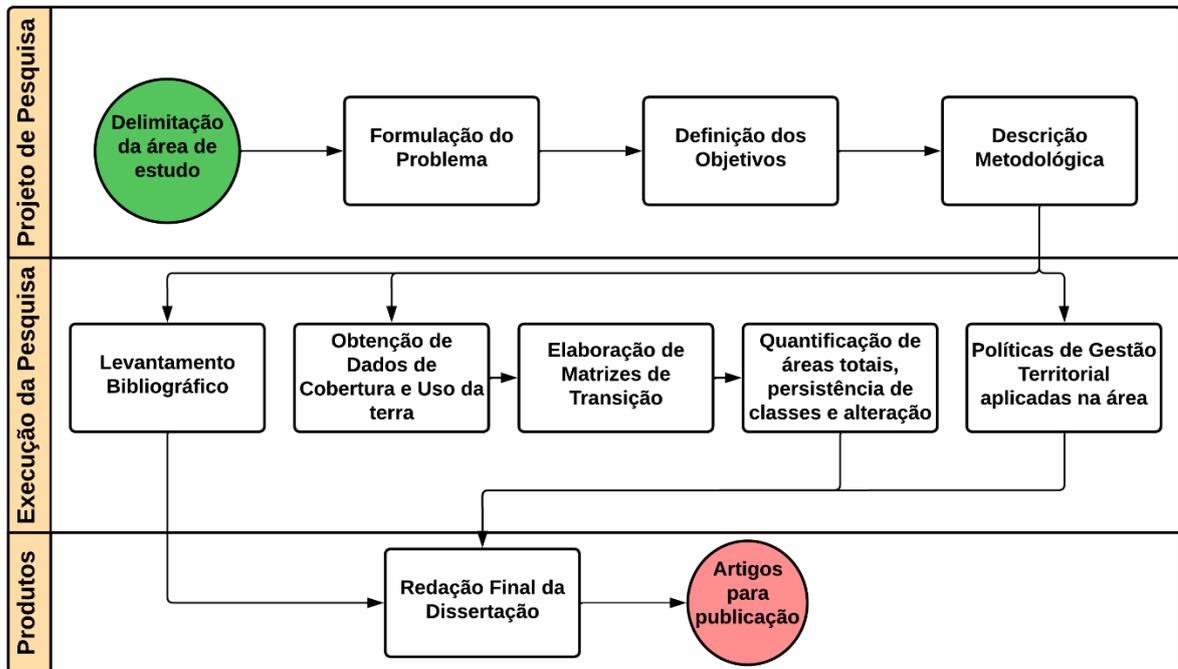
Com abordagem voltada para ciências sociais aplicadas, integrando pesquisas inter e transdisciplinares Siegmund-Schultze; Köppel; Sobral (2018) discutem a gestão sustentável do uso da terra no contexto da Bacia do Rio São Francisco, onde avaliaram as opções de gestão sustentável da terra investigando os usos dos sistemas aquáticos e terrestres, juntamente com suas funções e serviços ecossistêmicos subjacentes, concluindo que o cenário de escassez hídrica deve incentivar a discussão transparente sobre o que fazer com o uso da terra, dentro do contexto de diversificação para mitigação e adaptação às mudanças vivenciadas.

Por sua vez, objetivando elaborar zoneamento ambiental para a bacia transfronteiriça do Rio Apa, Barbosa; Sakamoto; Bacani (2016) utilizaram como critério mapas temáticos de solos, importância biológica, uso da terra e cobertura vegetal para análise da fragilidade ambiental e discussão com base na legislação brasileira e paraguaia aplicável a região, chegando a definição de 08 (oito) zonas e 13 (treze) categorias com respectivas recomendações das atividades a serem desenvolvidas e sua intensidade em relação ao prognóstico ambiental e considerando também áreas especiais, a saber zona de assentamento rural e de terras indígenas.

#### 4. METODOLOGIA

Para melhor compreensão do modo de execução desta pesquisa, a figura 2 traz o fluxograma constando as principais etapas realizadas.

Figura 2 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa



Fonte: o autor (2022)

Sob o ponto de vista da forma de abordagem do problema, o trabalho contemplará tanto a pesquisa quantitativa, no que concerne a determinação das áreas e sua evolução temporal, quanto qualitativas, de modo a verificar a relação entre as políticas de planejamento territorial.

De acordo classificação adotada por Gil (2017), o presente estudo mescla, sob o ponto de vista de seus objetivos, características de pesquisa do tipo descritiva e exploratória. Nas palavras do autor (op.cit, p. 27 – 28):

As pesquisas descritivas têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis [...]. As pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores.

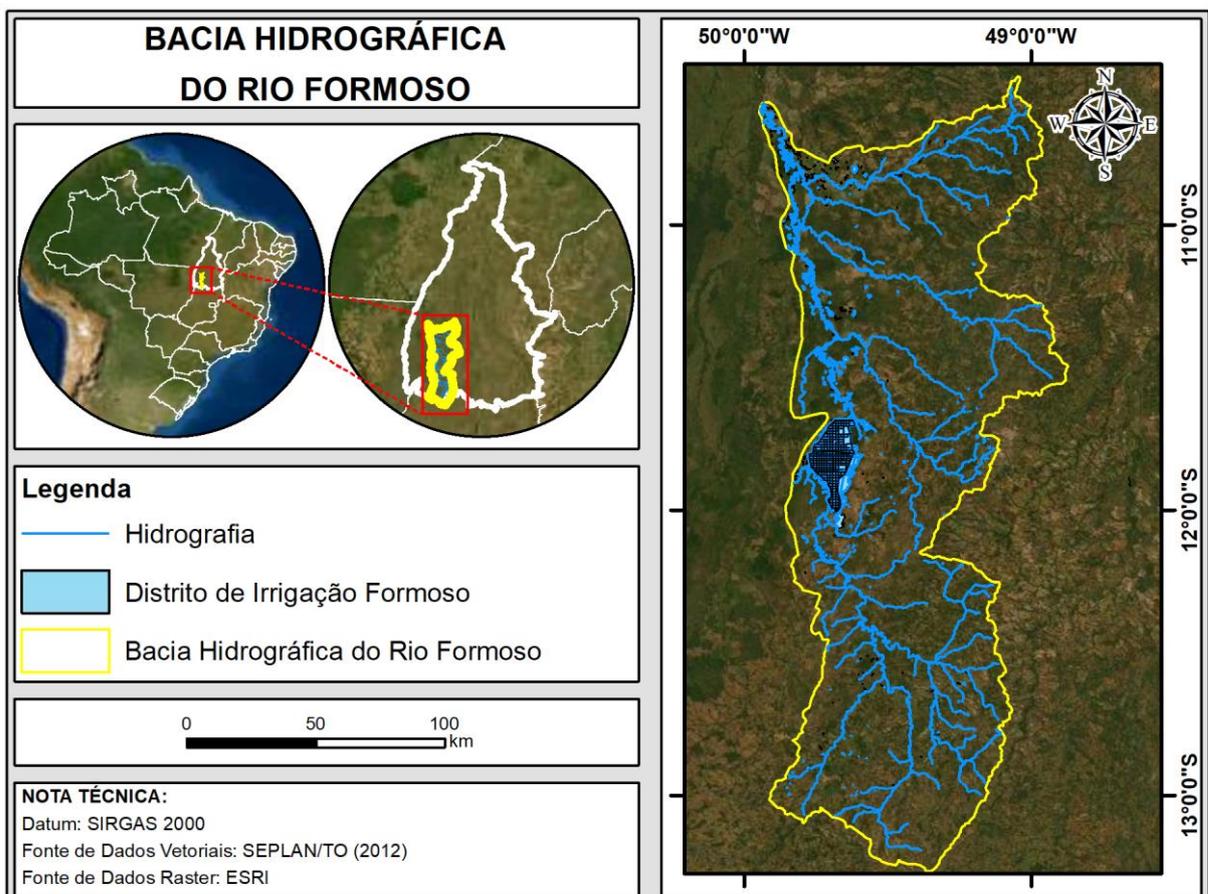
Deste modo, a descrição da cobertura e uso da terra nos anos de 2007 a 2019, bem como sua dinâmica de transição e relação com as políticas de ordenamento territorial, sobretudo

o Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (PBH-Formoso), é mesclada com a apresentação de tópicos-chave nos resultados, que instigam o direcionamento de novos esforços de pesquisa para temas correlatos e igualmente relevantes para a promoção do desenvolvimento e gestão eficiente na região.

#### 4.1 Caracterização da Área de Estudo

Conforme a divisão hidrográfica da Agência Nacional das Águas e Saneamento, a Bacia Hidrográfica do Rio Formoso pertence a Região Hidrográfica do Araguaia-Tocantins (ANA, 2018), Sistema Hidrográfico do Araguaia – A4 (TOCANTINS, 2012), apresentando área de drenagem de 21.328,57 km<sup>2</sup>, cerca de 7,7% da área total do Estado do Tocantins e 5,6% da bacia do rio Araguaia (TOCANTINS, 2007). Está localizado no sudoeste do Estado do Tocantins (97%) e noroeste de Goiás (3%), compreendida entre as coordenadas geográficas 10°28' e 13°16' S e 48°50' e 49°57' W (ALVES et al., 2015), como demonstrado na figura 3.

Figura 3 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.



Elaboração: o autor (2022)

A BHRF abrange 21 (vinte e um) municípios, sendo 03 (três) no estado de Goiás (Porangatu, Novo Planalto e São Miguel do Araguaia) que juntos correspondem a cerca de 3% (três por cento) da área total e 18 (dezoito) no estado do Tocantins. Dos 18 (dezoito) municípios tocantinenses, 03 (três) possuem limite municipal tangenciando o divisor da bacia, de modo que suas áreas de domínio tornam-se quase que inexpressivas, cerca de 0,02% do total, tendo inclusive sido desconsiderados na gestão da bacia conforme consta no PBH-Formoso, sendo estes Fátima, Oliveira de Fátima e Pium (TOCANTINS, 2007).

Os municípios com área efetiva na BHRF e que foram considerados na gestão proposta pelo PBH-Formoso, são: Aliança do Tocantins, Alvorada, Araguaçu, Cariri do Tocantins, Cristalândia, Crixás do Tocantins, Dueré, Figueirópolis, Formoso do Araguaia, Gurupi, Lagoa da Confusão, Nova Rosalândia, Sandolândia, Santa Rita do Tocantins e Talismã (TOCANTINS, 2007).

Dentre os 15 (quinze) municípios tocantinenses restantes, 06 (seis) possuem sede municipal inserida na área da BHRF, sendo estes Araguaçu (TO), Cariri do Tocantins (TO), Cristalândia (TO), Dueré (TO), Formoso do Araguaia (TO), Lagoa da Confusão (TO), além de Novo Planalto (GO) (TOCANTINS, 2007).

No que diz respeito as atividades econômicas, os municípios que compõe a bacia possuem destaque no desenvolvimento de atividades agrícolas. No ano de 2020, do total de áreas cultivadas com culturas temporárias no Estado, 21,36%, o equivalente a 330.541 ha (trezentos e trinta mil quinhentos e quarenta e um hectares) foram plantados nos municípios da BHRF, gerando valor de produção superior a dois bilhões de reais, cerca de 27,90% do total produzido no Estado (IBGE, 2021).

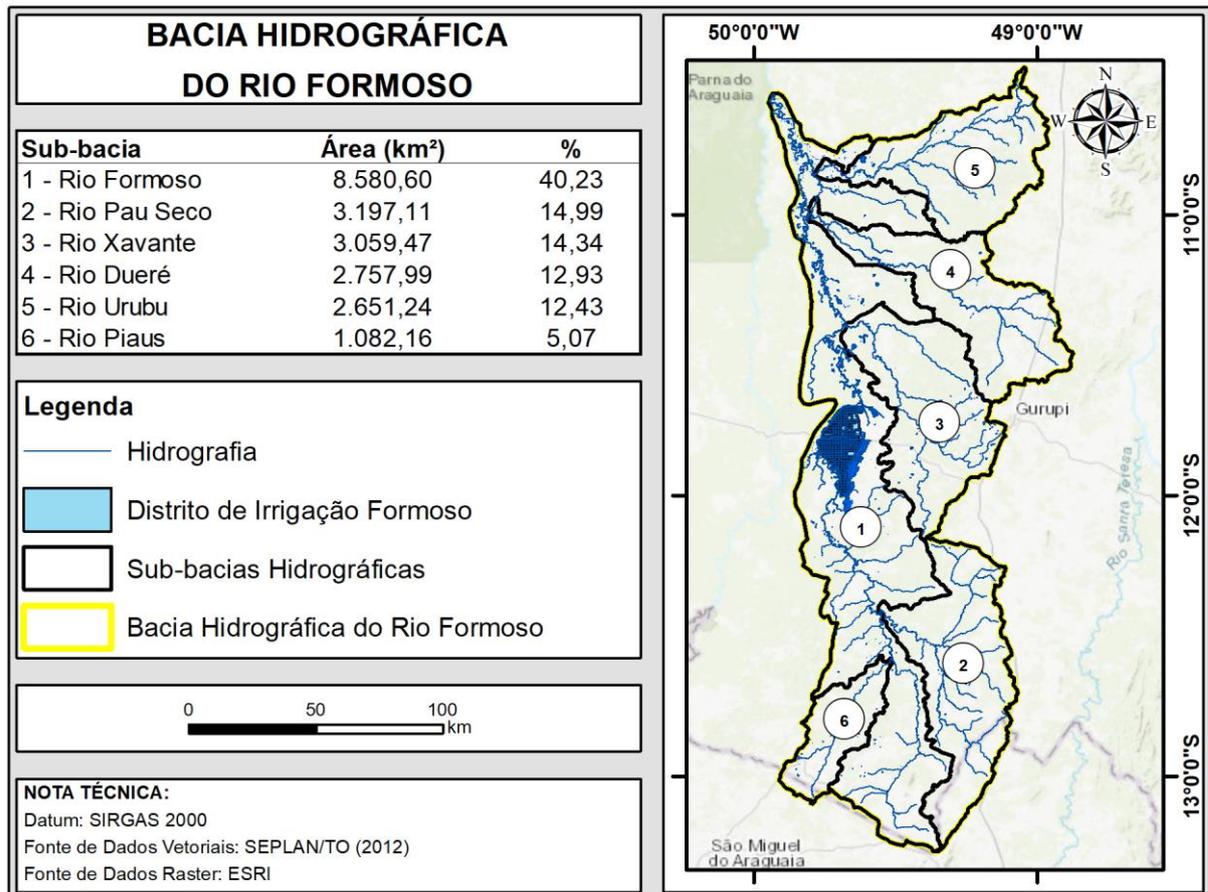
Os principais cultivos temporários plantados nos municípios da BHRF foram, em ordem da maior para menor área plantada no ano de 2020: soja (190.242 ha), arroz (100.028 ha), milho (14.843 ha), feijão (14.434 ha), melancia (5.755 ha) e sorgo (2.976 ha) (IBGE, 2021).

No aspecto hidrológico, o rio Formoso constitui a principal sub-bacia do Rio Javaés, afluente do Rio Araguaia. Possui 5 (cinco) sub-bacias além das áreas marginais ao curso principal, estando suas nascentes do lado direito (sentido nascente – foz) localizadas nos altos topográficos do interflúvio das bacias dos rios Araguaia e Tocantins, ligeiramente a oeste da rodovia Belém/Brasília (BR-153), no Estado do Tocantins (TOCANTINS, 2007).

No PBH-Formoso, a divisão da bacia em sub-bacias levou em consideração a topologia da rede de drenagem, a existência de postos fluviométricos e características

predominantes da ocupação do território, com pressuposto de agrupamento no menor número possível de sub-bacias (TOCANTINS, 2007). Após revisão pela Secretaria de Planejamento estadual (SEPLAN/TO), foram definidas as sub-bacias dos rios Pau Seco, Xavante, Dueré, Urubu e Piaus, além das áreas marginais ao corpo hídrico principal, o próprio Rio Formoso (TOCANTINS, 2012), como demonstrado na figura 4.

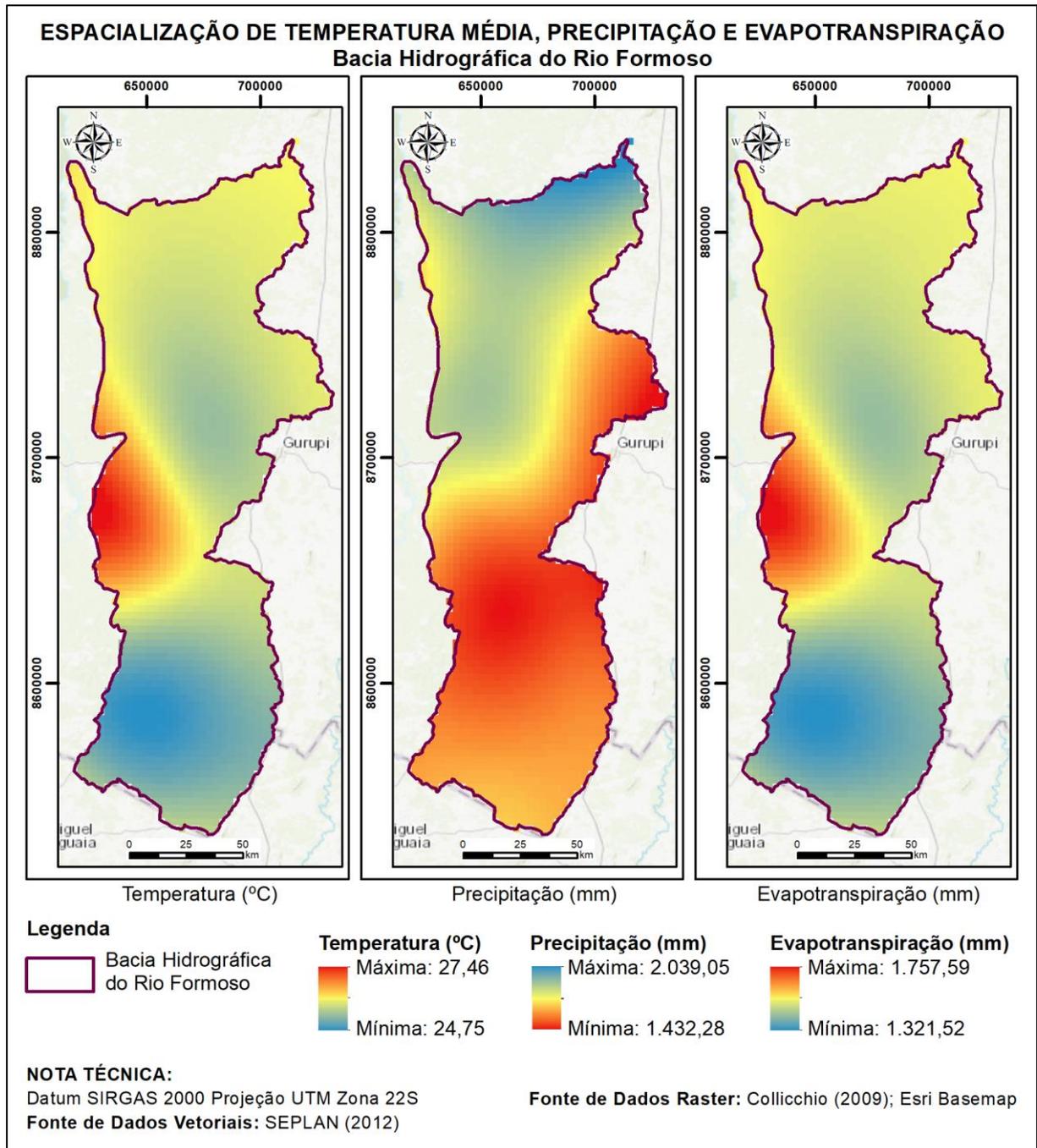
Figura 4 - Mapa das sub-bacias com respectivas áreas e percentual de participação na Bacia do Rio Formoso.



Elaboração: o autor (2022)

Utilizando a base elaborada por Collicchio (2009) e especializando as variáveis climatológicas, observa-se que a bacia está inserida em região de clima úmido, com moderada ou nula deficiência hídrica. A temperatura média varia entre 24°C e 27,5°C, a precipitação atinge mínimas de 1.400 mm e máximas de pouco mais de 2.000 mm, enquanto que a evapotranspiração ocorre entre 1.300 mm e 1.700 mm, com distribuição nos meses da estação seca, especialmente nos meses de agosto a setembro. As variáveis estão especializadas na figura 5.

Figura 5 - Espacialização da temperatura média, precipitação e evapotranspiração na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, Tocantins.



Fonte: o autor, 2022.

A respeito dos usos de água predominantes, destacam-se o consumo humano, dessedentação animal e irrigação, de modo que esta última chega a consumir 98,5% do volume total, estando concentradas as principais demandas em áreas marginais ao rio Formoso e na sub-bacia do Rio Urubu (TOCANTINS, 2007).

Nas áreas marginais a calha principal, no médio curso do rio, pertencente ao município de Formoso do Araguaia, encontra-se o Distrito de Irrigação Rio Formoso, que utiliza o sistema de irrigação por inundação na época chuvosa para produção de arroz e sub-irrigação no período seco para produção de soja (semente), feijão, milho e melancia (TOCANTINS, 2019).

## 4.2 Procedimentos Metodológicos

### 4.2.1 Aquisição de Dados Vetoriais e Matriciais

Foram consultadas bases cartográficas disponibilizadas pela Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins (SEPLAN/TO), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) e SIG do Plano de Bacia do Rio Formoso, objetivando reunir informações mais detalhadas sobre os compartimentos ambientais no âmbito natural e socioeconômico da área de estudo, com a descrição dos produtos adquiridos na tabela 1.

Tabela 1 – Bancos de dados matriciais e vetoriais consultados

<b>PRODUTO</b>	<b>FORMATO</b>	<b>FONTE</b>
5ª Coleção do Mapbiomas - Cerrado	Raster	MAPBIOMAS (2020)
Base Cartográfica do Tocantins	Vetorial	TOCANTINS (2012)
Propriedades inscritas no Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR)	Vetorial	Serviço Florestal Brasileiro (BRASIL, 2021)
SIG do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso	Vetorial e Raster	TOCANTINS (2007)

Elaboração: o autor (2022).

Os dados matriciais que embasaram toda a análise de cobertura e uso da terra deste trabalho foram obtidos por meio da 5ª Coleção do Mapbiomas - Cerrado (2020), para os anos de 2007 a 2019, enquanto que a base cartográfica do Estado foi utilizada para atualização das informações da compartimentação ambiental. O SIG do PBH-Formoso foi utilizado para descrição e discussão do zoneamento, enquanto que a base do SICAR também compôs os resultados apresentados nas seções posteriores.

### 4.2.2 Processo de Análise

A identificação de mudanças de cobertura e uso da terra, ao longo de um determinado período, deve ser realizada utilizando mapas referentes a duas ou mais ocasiões e calculadas as diferenças entre eles, por meio de métodos pré-definidos (HOLLER, et al., 2018).

A análise da transição de cobertura e uso da terra na BHRF ocorreu utilizando o software ArcGIS 10.5 (ESRI), com licença de uso obtida pela Universidade Federal do Tocantins.

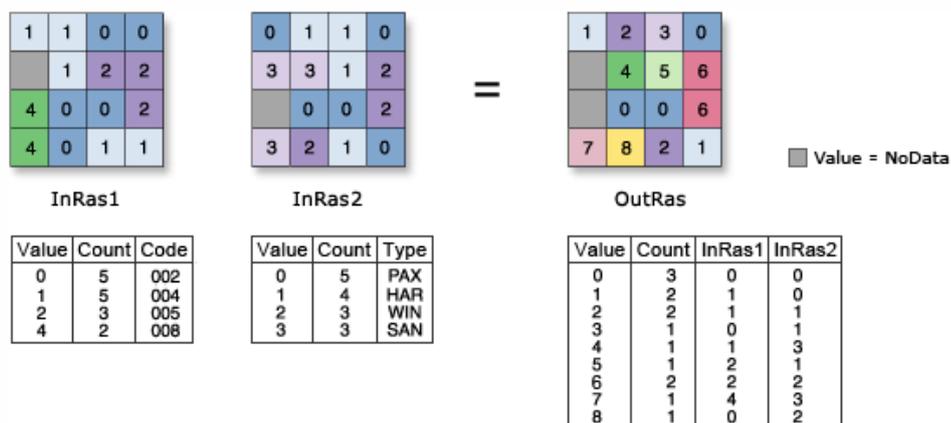
Inicialmente, os dados coletados da 5ª Coleção do MAPBIOMAS Cerrado (2020) foram recortados a partir dos limites da BHRF estabelecidos nas bases vetoriais consultadas. A título de análise geral de transição, utilizou-se o limite estabelecido pela SEPLAN/TO (2012), que contempla toda a área da bacia, incluindo os 03% de território que estão dispostos no estado de Goiás. Para a análise da dinâmica de cobertura e uso nas regiões do zoneamento da bacia, utilizou-se o limite disponível no SIG do PBH-Formoso, que abrange apenas as áreas no estado do Tocantins.

Em ambos os casos, os dados matriciais foram projetados para Projeção UTM Zona 22S, datum SIRGAS 2000 e efetuada a primeira conversão para dados vetoriais, afim de contabilizar as áreas totais em cada ano, de 2007 a 2019, período de análise.

Em sequência, os dados em raster foram sobrepostos para verificação da transição de cobertura e uso da terra. Para isso, utilizou-se função de operação “Combinatorial or” (Spatial Analyst Tools > Math > Logical > Combinatorial or) e conversão para dados vetoriais para contabilização das áreas.

Segundo a página eletrônica oficial ArcGIS (ESRI), a análise “Combinatorial Or” “*executa uma operação nos valores de célula de dois rasters de entrada. Se um dos valores de entrada for verdadeiro (diferente de zero), a saída será um valor diferente para cada combinação exclusiva de valores de entrada. Se ambas as entradas forem falsas (zero), o valor de saída será 0*”. Para exemplificação, observe a figura 6.

Figura 6 - Exemplificação da função "Combinatorial Or" do software ArcGIS (ESRI).



`OutRas = CombinatorialOr(InRas1, InRas2)`

A tabela de atributos do arquivo final foi exportada para uma planilha eletrônica no *software* Excel (Microsoft) para elaboração das matrizes de transição, seguindo a metodologia preconizada por Poncius-Jr et al. (2004), exemplificada na tabela 2.

Tabela 2 - Matriz geral de tabulação cruzada para comparar dois mapas de diferentes pontos no tempo.

Tempo 1	Tempo 2				Total Tempo 1	Perda
	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4		
Categoria 1	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$	$P_{14}$	$P_{1+}$	$P_{1+} - P_{11}$
Categoria 2	$P_{21}$	$P_{22}$	$P_{23}$	$P_{24}$	$P_{2+}$	$P_{2+} - P_{22}$
Categoria 3	$P_{31}$	$P_{32}$	$P_{33}$	$P_{34}$	$P_{3+}$	$P_{3+} - P_{33}$
Categoria 4	$P_{41}$	$P_{42}$	$P_{43}$	$P_{44}$	$P_{4+}$	$P_{4+} - P_{44}$
Total Tempo 2	$P_{+1}$	$P_{+2}$	$P_{+3}$	$P_{+4}$		-
Ganho	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$	-	-

Fonte: Traduzido da obra de Pontius-Jr (2004, p. 254).

Na matriz geral de tabulação cruzada, as linhas ( $i$ ) exibem as categorias no tempo 1 e as colunas ( $j$ ) mostram as categorias no tempo 2. A notação  $P_{ij}$  denota a proporção da paisagem que passa por uma transição da categoria  $i$  para a categoria  $j$ . As entradas na diagonal principal indicam persistência, assim  $P_{ij}$  denota a proporção da paisagem que persiste no tempo 2. Na coluna Total Tempo 1, a notação  $P_{i+}$  denota a proporção da paisagem na categoria  $i$  no tempo 1, enquanto que a notação  $P_{+j}$  indica a proporção da categoria  $j$  no tempo 2 (PONTIUS-JR, 2004).

As colunas “Total Tempo 1” indica o somatório de todas as entradas de  $i$  no tempo 1, e “Perda” a proporção perdida na categoria de paisagem entre os tempos 1 e 2. As linhas “Total Tempo 2” apresenta a totalidade das entradas  $j$  no tempo 2 e “Ganho” o quantitativo de ganhos da categoria  $j$  entre os tempos 1 e 2 (PONTIUS-JR, 2004).

Após elaboração das tabelas, foram feitas as inferências acerca do processo de persistência e transição das classes de uso e cobertura da terra na BHRF e seus reflexos no meio ambiente natural e socioeconômico, correlacionando com as políticas de ordenamento territorial adotadas, com ênfase no Zoneamento de Desenvolvimento Sustentável do PBH-Formoso.

#### 4.2.3 Elaboração da Cartografia Final

Com a finalização do processamento das informações, foram obtidas as classes de cobertura e uso da terra na BHRF, bem como a dinâmica de transição entre as classes. Para melhor apresentação dos resultados finais, os produtos cartográficos foram elaborados por meio do *software* ArcGIS 10.5 (ESRI), com licença de uso obtida pela Universidade Federal do Tocantins. A escolha do *software* diz respeito a suas qualidades visuais para elaboração, exportação e impressão de produtos cartográficos.

## 5. CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO

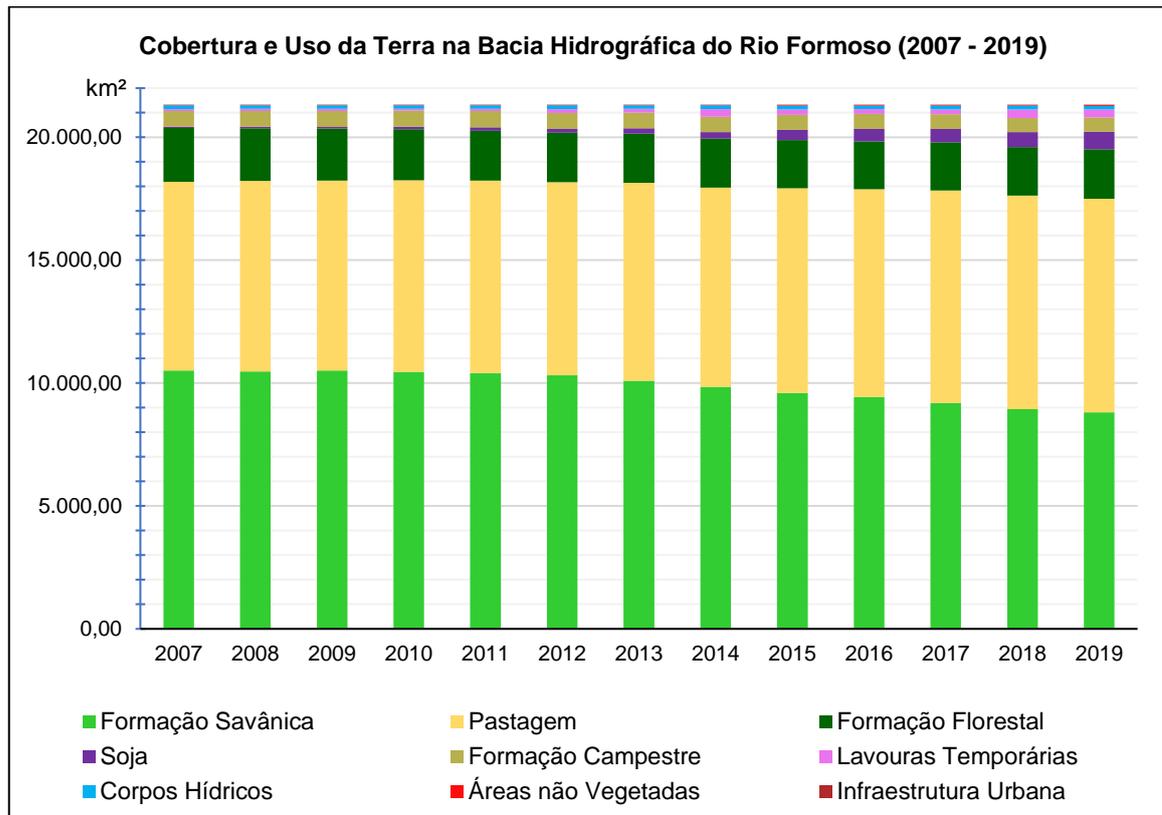
De acordo os dados levantados, para a área da bacia hidrográfica do Rio Formoso foram identificadas 09 (nove) classes de cobertura e uso da terra, sendo estas: áreas não vegetadas, corpos hídricos, formação campestre, formação florestal, formação savânica, infraestrutura urbana, lavouras temporárias, pastagem e soja. Todas as classes ocorreram em todos os anos avaliados, no período de 2007 a 2019, como demonstrado no anexo A desta dissertação.

A definição de cada classe partiu da nomenclatura utilizada pelo Mapbiomas (2020), em referência cruzada com as classes do IBGE (2013), tendo as unidades temáticas a seguinte descrição:

- Áreas não vegetadas: Áreas de superfície não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeados em suas classes.
- Corpos hídricos: Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.
- Formação Campestre: Formações com predominância de estrato herbáceo, equivalente ao cerrado como fitofisionomias campos sujos, campos limpos e campo rupestre.
- Formação Florestal: Tipo de vegetação com predominância de espécies de árvores formação de dossel arbóreo contínuo (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Savana Florestal) bem como florestas sazonais semidecíduais.
- Formação Savânica: Formação com indivíduos de porte arbóreo e arbustivo-herbáceo, como cerrado sentido restrito: denso, ralo e típico.
- Infraestrutura Urbana: Áreas urbanas com predominância de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, rodovias e construções.
- Lavouras Temporárias: Áreas ocupadas com curto a médio prazo por cultivos, geralmente com um ciclo vegetativo de menos de um ano, que após a colheita deve ser replantado.
- Pastagem: Áreas naturais ou plantadas, relacionadas com a atividade agropecuária.
- Soja: Áreas cultivadas com soja (*Glycine max* (L) Merrill)

Para melhor visualização dos dados iniciais, o gráfico da figura 7 demonstra a participação em quilômetros quadrados de cada classe na composição da BHRF, tendo sido diagramado da maior (base) para a menor (topo) das classes, com o ano de referência de 2019.

Figura 7 - Participação das classes de cobertura e uso da terra na BHRF, entre 2007 e 2019.



Fonte: Mapbiomas (2020) / Elaboração: o autor, 2022.

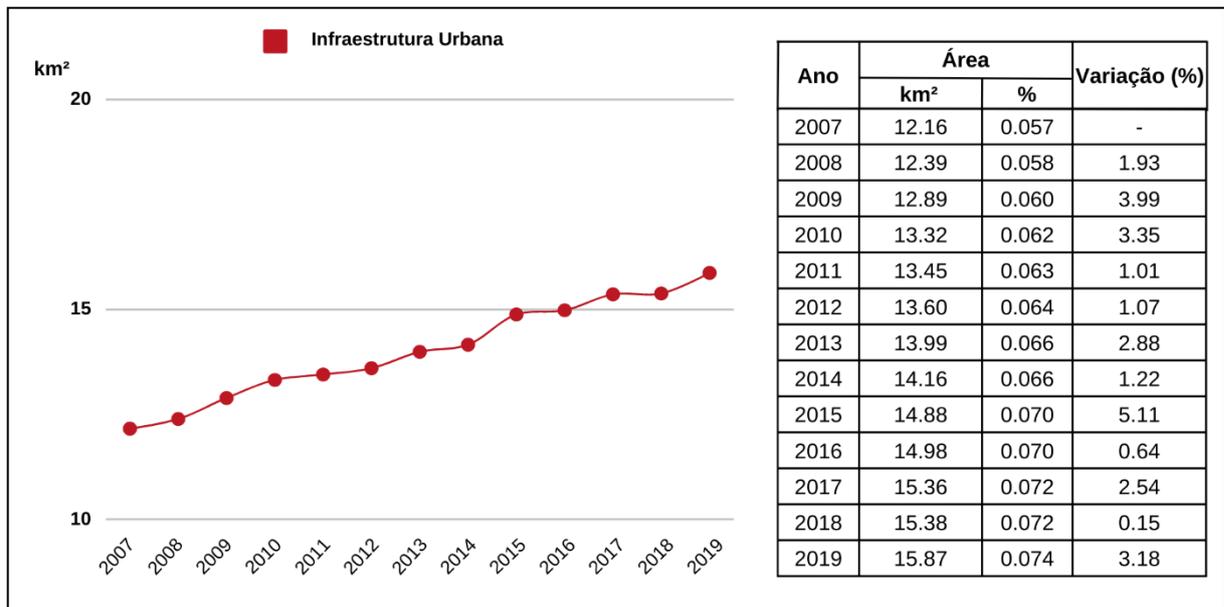
Inicialmente, os valores das áreas das classes temáticas foram analisados de forma isolada de acordo com a variação temporal, a fim de compreender a contribuição de cada unidade na composição da bacia, com detalhamento nos subitens a seguir.

### 5.1 Áreas Antrópicas não Agrícolas: Infraestrutura Urbana

Dentre os municípios que possuem território englobado pela área de estudo, analisou-se de modo particular 07 (sete) cidades que possuem sede municipal inserida na BHRF, sendo estas Araguaçu (TO), Cariri do Tocantins (TO), Cristalândia (TO), Dueré (TO), Formoso do Araguaia (TO), Lagoa da Confusão (TO) e Novo Planalto (GO).

Como demonstrado na Figura 8, o somatório das manchas urbanas identificadas é inexpressivo quando comparado a totalidade da área da bacia, ocupando apenas 0,074% da BHRF no ano de 2019, mesmo a classe temática tendo apresentado crescimento durante todo o período analisado, com destaque para o ano de 2015, com acréscimo de 5,11% em relação ao ano anterior.

Figura 8 - Representação gráfica das áreas de Infraestrutura Urbana na BHRF entre 2007 e 2019.



Fonte: Mapbiomas (2020). Elaboração gráfica: o autor (2022)

Ao analisar os dados populacionais dispostos na tabela 3, observa-se que todos os municípios possuem menos de 20.000 (vinte mil) habitantes, considerados de pequeno porte, o que explica a baixa participação da classe temática na área total. Não obstante, no conjunto de municípios observam-se fenômenos antagônicos entre os anos de 2007 e 2019, sendo o peculiar caso de Araguaçu (TO), que apresentou decréscimo populacional em cerca de -5,25% e a explosão demográfica em Lagoa da Confusão (TO), com aumento de 62,49%.

Tabela 3 - População dos municípios com sede inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, nos anos 2007 e 2019.

Município	Ano		Variação (%)
	2007 <sup>1</sup>	2019 <sup>2</sup>	
Araguaçu (TO)	8.989	8.517	-5,25
Cariri do Tocantins (TO)	3.562	4.382	23,02
Cristalândia (TO)	6.520	7.289	11,79
Dueré (TO)	4.489	4.686	4,39
Formoso do Araguaia (TO)	18.225	18.440	1,18
Lagoa da Confusão (TO)	8.220	13.357	62,49
Novo Planalto (GO)	3.986	4.495	12,77

Fonte: <sup>1</sup> Contagem da população (IBGE, 2007); <sup>2</sup> Estimativa de população (IBGE, 2021).

Ao identificar este comportamento de redução da população em alguns municípios tocantinenses, Nunes; Mello; Bracerense (2020) citam a demanda por mão de obra, logística e instalação de equipamentos públicos em cidades próximas acabam por influenciar o fluxo migratório microrregional em busca de melhores condições de vida e emprego por parte dos

habitantes, tendo, inclusive, identificado o caso de Dueré e relacionado a forte influência do município de Gurupi (TO), cidade vizinha, importante centro regional do estado e que faz parte da BHRF, mas com sede municipal fora dos limites.

Os municípios inseridos na BHRF desempenham papel importante do ponto de vista econômico no estado do Tocantins, mas apesar disso, nenhum é sede de região intermediária ou imediata, conforme Divisão Regional elaborada pelo IBGE (2017), onde os municípios são agrupados a partir de centros urbanos próximos para a satisfação das necessidades das populações, tais como: compras, busca de trabalho, procura por serviços de saúde, educação e prestação de serviços públicos.

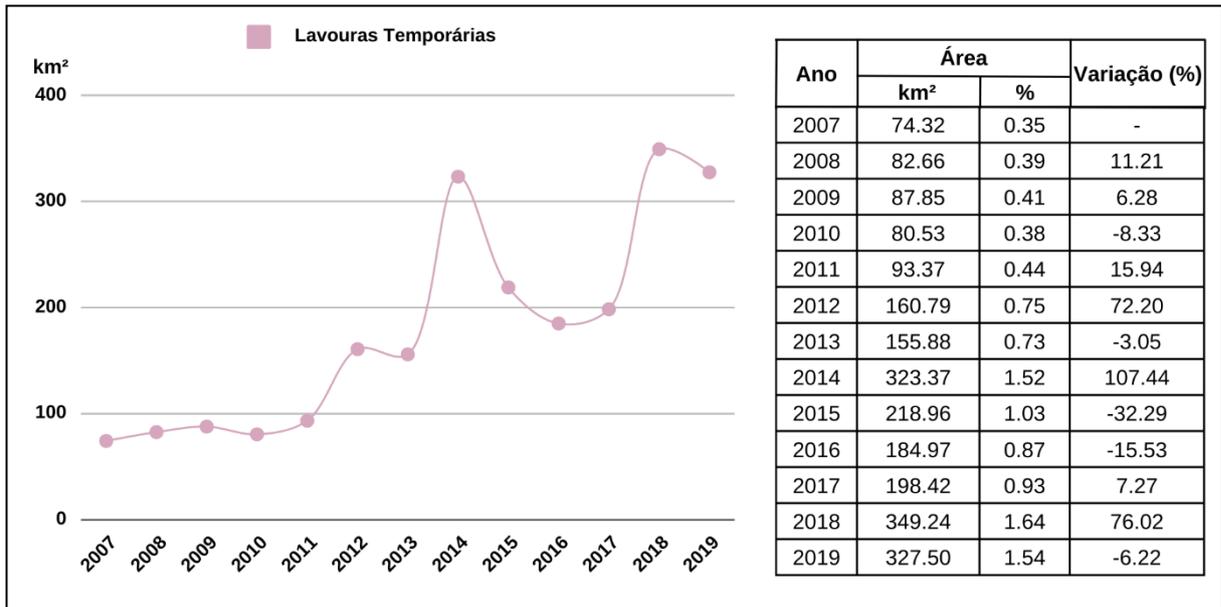
No caso dos municípios citados, acredita-se que o fato de nenhuma das cidades ter acesso via rodovias federais, que concentram o maior fluxo de passageiros e cargas no Estado, tenha sido um obstáculo logístico histórico para o aumento na taxa de crescimento dos núcleos urbanos, com exceção de Lagoa da Confusão, onde o caso específico deve ser analisado e correlacionado com, por exemplo, a implantação de empresas multinacionais e ampliação e mecanização de algumas áreas de plantio que demandaram mão de obra qualificada ou mesmo o êxodo do campo para cidade após venda ou arrendamento de propriedades, hipóteses a serem investigadas em estudos específicos.

## **5.2 Áreas Antrópicas Agrícolas: lavouras temporárias, cultivo de soja e pastagem**

A antropização da área de estudo por atividades agrícolas é algo facilmente perceptível e fica evidente quando visto a parcela ocupada pelas classes temáticas de pastagem, lavouras temporárias e cultivo de soja, que juntas, ocuparam no ano de 2019 cerca de 45,62% da área total da bacia, com destaque para classe de pastagem, distribuída em todo o território e com participação mais expressiva.

Na BHRF, são cultivados produtos de lavoura temporária, sendo as culturas de soja, arroz, milho, feijão e melancia as predominantes (IBGE, 2021). Como demonstrado na figura 9 a classe temática passou de 0,35% do território no ano de 2007 para 1,54% no ano de 2019, tendo tido a maior extensão no ano anterior, 2018, onde ocupou 1,64%, o equivalente a 327,50 km<sup>2</sup>.

Figura 9 - Representação gráfica das áreas de Lavouras Temporárias na BHRF entre 2007 e 2019.



Fonte: Mapbiomas (2020). Elaboração gráfica: o autor (2022)

Nota-se que apesar do crescimento total, durante os anos do estudo ocorreram diversas variações na área plantada com tais culturas, com aumentos em 2011 de 15,94%, em 2012 de 72,20%, leve queda em 2013 de -3,05% e retomada significativa de 107,44% em 2014.

Entretanto, nos anos de 2015 e 2016 houve queda sucessiva na área plantada, com -32,29% e -15,53%, respectivamente, coincidindo com o evento hidrológico extremo de escassez registrado na bacia mencionada. Após isso, a retomada de crescimento expressivo ocorreu no ano de 2018, com 76,02% e queda de -6,22% no ano de 2019.

Considerando o principal uso de recursos hídrico na bacia estar relacionado com a irrigação de culturas (TOCANTINS, 2007), a ocorrência de evento de escassez e a diminuição de áreas cultivadas permite a inferência da importância do sistema de irrigação utilizado na região para a manutenção da atividade produtiva em termos de área plantada e volume produzido, sendo destaque para a dependência de um tipo específico de meio de cultivo.

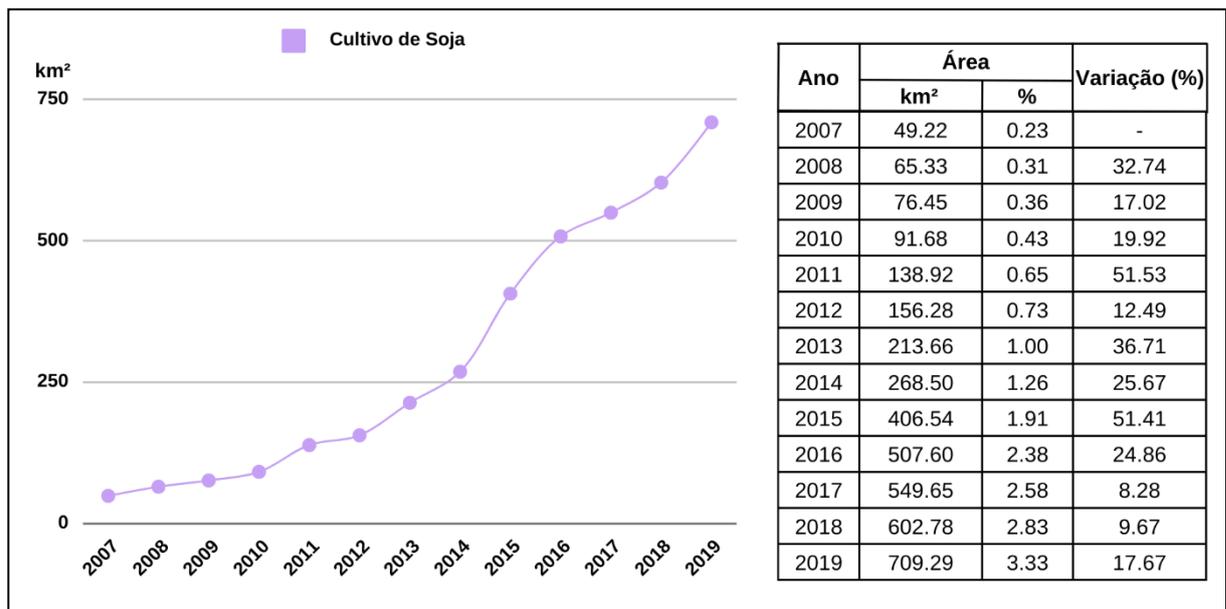
Observando a cobertura e uso da terra, no ano de 2007 foram observados diversos pontos isolados de culturas temporárias em toda a bacia, com destaque para três pontos, sendo estes o Projeto de Irrigação Rio Formoso no município de Formoso do Araguaia, o entorno o núcleo urbano de Lagoa da Confusão e algumas áreas isoladas do município de Dueré. No decorrer do tempo, observa-se a consolidação dessas áreas e abertura de novas em toda a bacia, especial nas porções centro e norte.

Apesar de também ser considerada cultura temporária, a soja ganha destaque nessa análise pela disponibilização pelo MapBiomas (2020) de informações específicas referentes a

área de plantio. A cultura ganhou expressividade com o passar dos anos, chegando em 2019 a ser duas vezes maior do que as demais culturas temporárias juntas.

Diferente das demais culturas, a consolidação das áreas de cultivo de soja irrigada e de sequeiro demonstra-se pelo sucessivo aumento desde o ano de 2007 até 2019, como demonstrado na figura 10, destacando o ano de 2011 com incremento de 51,53%, e alguns momentos de crescimento mais “modesto”, como no ano de 2017 e 2018 com 8,28% e 9,67%, respectivamente. Nos demais anos, o mínimo de crescimento obtido foi superior a 17%, fato

Figura 10 - Representação gráfica das áreas de Cultivo de Soja na BHRF entre 2007 e 2019.



bastante relevante para a realidade local.

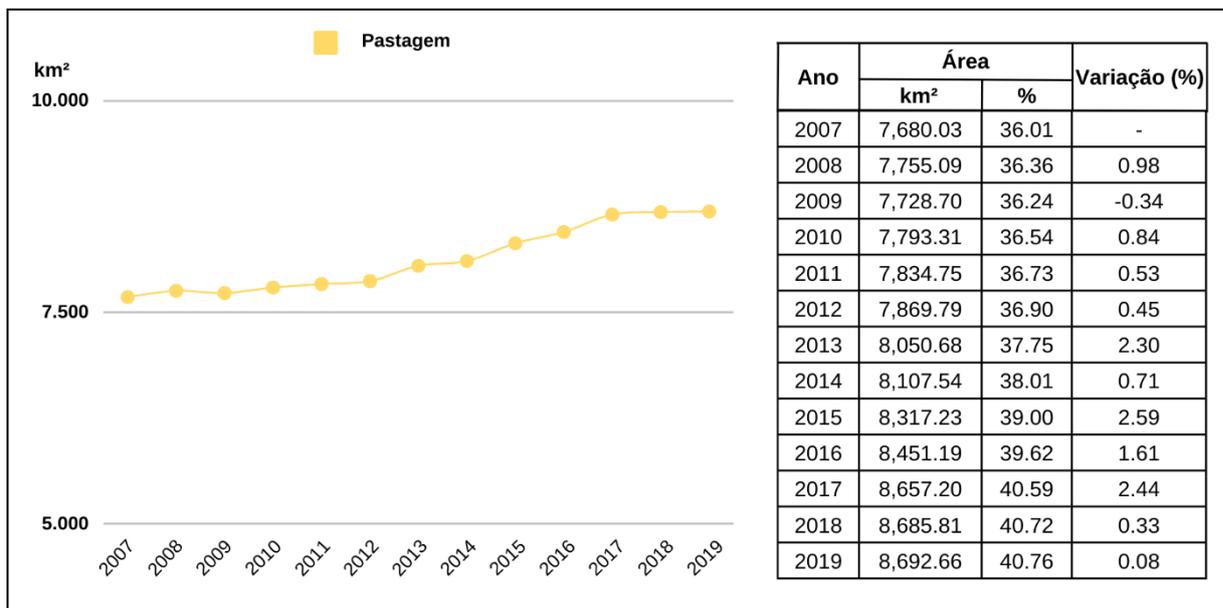
Fonte: Mapbiomas (2020). Elaboração gráfica: o autor (2022)

Observa-se com os dados que o evento hidrológico de escassez teve reflexos na taxa de crescimento das áreas, apresentando aumento em termos quantitativos em relação ao ano anterior, porém em ritmo menos agressivo a partir de 2016, considerando a tendência de rápida expansão desde 2012, com intensificação em 2014. Isto demonstra que fatores externos à bacia podem ter influenciado o processo de tomada de decisão por alocação de recursos naturais neste cultivo em específico, possivelmente por questões de rentabilidade econômica e dependência da cadeia produtiva regional.

No que tange as áreas de pastagem, estas predominam na região de estudo como uso antrópico mais comum, presente em toda a bacia, com destaque a região sul. A apresenta os resultados das áreas, que já no ano de 2007 correspondiam a 36,01% da área total e seguiu com crescimento até o ano de 2019, onde alcançou 40,76% da BHRF.

Durante os anos de análise, 2007 a 2019, apenas no ano de 2009 a área de pastagem apresentou diminuição -0,34%, em relação ao ano anterior. Nos demais, o crescimento teve três momentos de destaque, sendo estes nos anos de 2013 com 2,3%; 2015 com 2,59% e 2017 com 2,44%, como demonstrado na figura 11.

Figura 11 - Representação gráfica das áreas de Pastagem na BHRF entre 2007 e 2019.



Fonte: Mapbiomas (2020). Elaboração gráfica: o autor (2022)

De acordo a Pesquisa da Pecuária Municipal do IBGE (2021), das espécies que utilizam a pastagem como alimentação, os rebanhos bovinos são dominantes na região, de modo que outras criações, a citar caprinos, ovinos e bubalinos, são em números irrisórios quando comparados a primeira criação mencionada. Nos municípios com participação de pelo menos 1% na área da BHRF, o tamanho dos rebanhos passou de 1.722.665 cabeças em 2007 para 2.026.595 cabeças em 2019, como demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantitativo do rebanho bovino (\*1000) e taxa de variação nos municípios<sup>1</sup> com área efetiva na BHRF.

Ano	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Cabeças (*1000)</b>	1.722,7	1.761,6	1.750,6	1.799,1	1.894,4	1.878,9	1.840,9	1.787,5	1.915,0	2.039,0	2.144,2	1.959,6	2.026,6
<b>Variação (%)</b>	--	2,26	-0,62	2,77	5,29	-0,82	-2,02	-2,90	7,13	6,48	5,16	-8,61	3,42
<b>Cabeça/km²</b>	224,30	227,15	226,51	230,85	241,79	238,74	228,66	220,47	230,24	241,27	247,68	225,61	233,14

Fonte: IBGE (2021); Elaboração: o autor, 2022

**Nota:** <sup>1</sup> Os municípios no Estado do **Tocantins**: Aliança do Tocantins, Alvorada, Araguaçu, Cariri do Tocantins, Cristalândia, Crixás do Tocantins, Dueré, Figueirópolis, Formoso do Araguaia, Lagoa da Confusão, Sandolândia, Santa Rita do Tocantins, Talismã; No Estado de **Goiás**: Porangatu.

<sup>2</sup> Considerou-se todo o quantitativo informado pelo municípios, de modo que este dado não reflete a quantidade exata de indivíduos criados apenas na BHRF.

Durante o período de análise, o menor valor registrado foi no ano de 2007, mas apesar do crescimento total, observa-se a maior ocorrência de eventos de variação negativa em comparação com as áreas de pastagem. Mesmo quando a redução do rebanho ocorreu em

relação ao ano anterior, a exemplo de 2014 (-2,63%) e 2018 (-8,07%), as áreas de pastagem ainda apresentaram aumento sutil, com 0,71% e 0,33%, respectivamente.

Seguindo a lógica de manutenção das áreas de pastagem nas propriedades em um período tão curto de tempo, seja por postura ativa do proprietário ou pela morosidade do processo de restauração natural, a análise dos dados a partir do Coeficiente de Correlação de Pearson, apresentou forte correlação positiva de 0.8699, demonstrando que o crescimento das áreas de pastagem está associado ao aumento da criação de gado, todavia, observa-se que nos momentos em que ocorre acréscimo de indivíduos, a densidade também aumenta, o que explica a correlação não ser ainda maior.

Analisando os dados, o aumento dos rebanhos não aparenta ser fruto de melhorias significativas no sistema de criação utilizado na BHRF, com foco na pecuária extensiva, de forma que a perpetuação dos modos convencionais de produção implica na manutenção e maximização dos impactos ambientais negativos. Considerando que as áreas de pastagem tendem a aumentar todos os anos, por mais que sejam alterações sutis e que o número de indivíduos no rebanho apresenta maiores taxas de variação (positivas e negativas), deve-se evitar o efeito de rarefação dos indivíduos (menor número de animais por área).

Estudos demonstram a possibilidade do incremento de animais por área com a utilização de técnicas de manejo de pastagem e gerenciamento de rebanhos, trazendo como benefícios a redução de custos de produção, aumento da eficiência e melhora na qualidade de vida dos rebanhos, além de diminuir a pressão pela abertura de novas áreas sobre áreas naturais (MAGALHÃES et al, 2019; LIMA et al, 2022).

Convém mencionar que, observando o aumento progressivo modesto das áreas totais de pastagem e o aumento exponencial das áreas de cultivo, supõe-se que apesar da BHRF tender a continuar como polo de atividades agrícolas, a dinâmica da paisagem poderá mudar em anos futuros, sendo interessante objeto para discussão e elaboração de estudos específicos de proposição de cenários.

### **5.3 Áreas de Vegetação Natural: Formações Florestal, Savânica e Campestre**

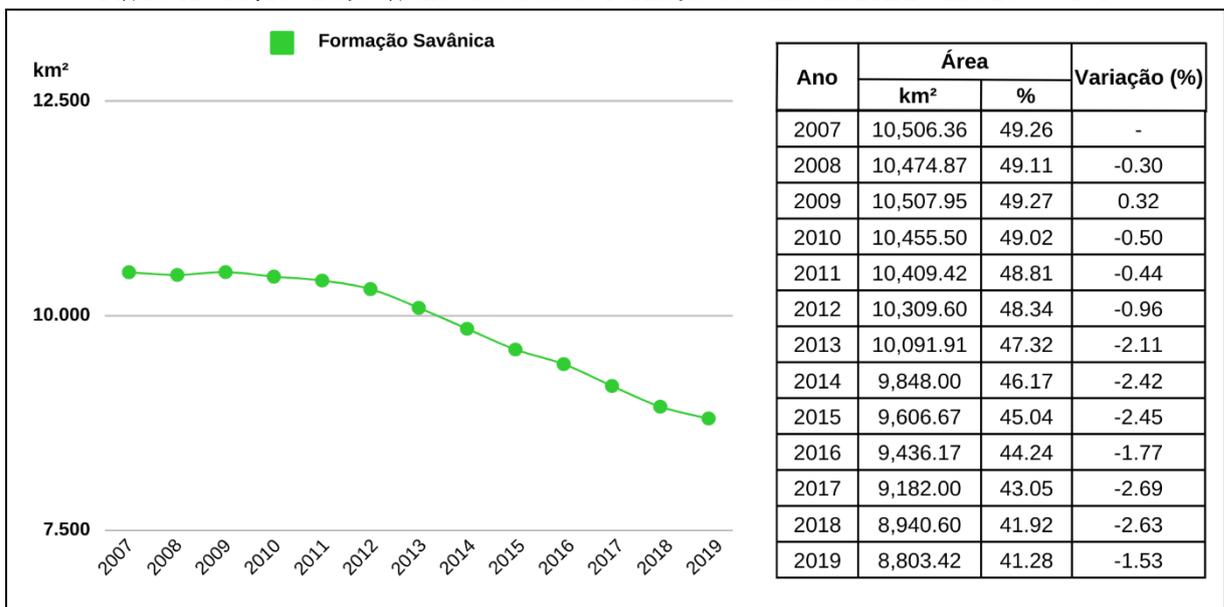
Segundo o Mapa de Biomas do Brasil (IBGE, 2007), no estado do Tocantins ocorrem dois biomas, o Amazônico e o Cerrado, sendo o primeiro predominante na região norte, ocupando 9% do território estadual e o segundo ocupando o restante (91%) e em diversas áreas do estado ocorrem faixas de contato/transição, os chamados ecótonos, com grande diversidade de vegetação.

A título de análise de cobertura e uso, não foram distinguidos os tipos de vegetação de acordo espécies, mas sim quanto ao porte e densidade. Deste modo, consultando o glossário da 5ª Coleção do Mapbiomas (2020), a formação florestal está associada a ocorrência de vegetação densa de maior porte, como mata de galeria, mata seca sempre verde e cerradão, além de fitofisionomias do bioma amazônico, como floresta ombrófila aberta e floresta estacional semidecidual. A formação savânica é a mais comumente associada ao cerrado, podendo ser cerrado sentido restrito, palmeiral, parque cerrado e campo sujo; e a formação campestre compreende a ocorrência de campo limpo e campo rupestre.

Como mencionado anteriormente, a área de estudo está formalmente inserida no bioma cerrado (savana), o que explica a maior parte das áreas naturais apresentarem fitofisionomia característica desse bioma.

Constata-se que entre os anos de 2007 a 2019, a classe temática em questão perdeu pouco mais de 1.700 km<sup>2</sup>, resultado de sucessivas variações negativas na sua área, com valores percentuais pequenos, mas que quando considerados em totalidade, tornam-se expressivos. Observa-se com os dados a aceleração do processo de perda, começando com recuo de 0,3% em 2008 e alcançando patamares anuais acima de 2% entre os anos 2013 a 2018 (com exceção de 2016 com -1,77%), como demonstrado na figura 12.

Figura 12 - Representação gráfica das áreas de Formação Savânica na BHRF entre 2007 e 2019.

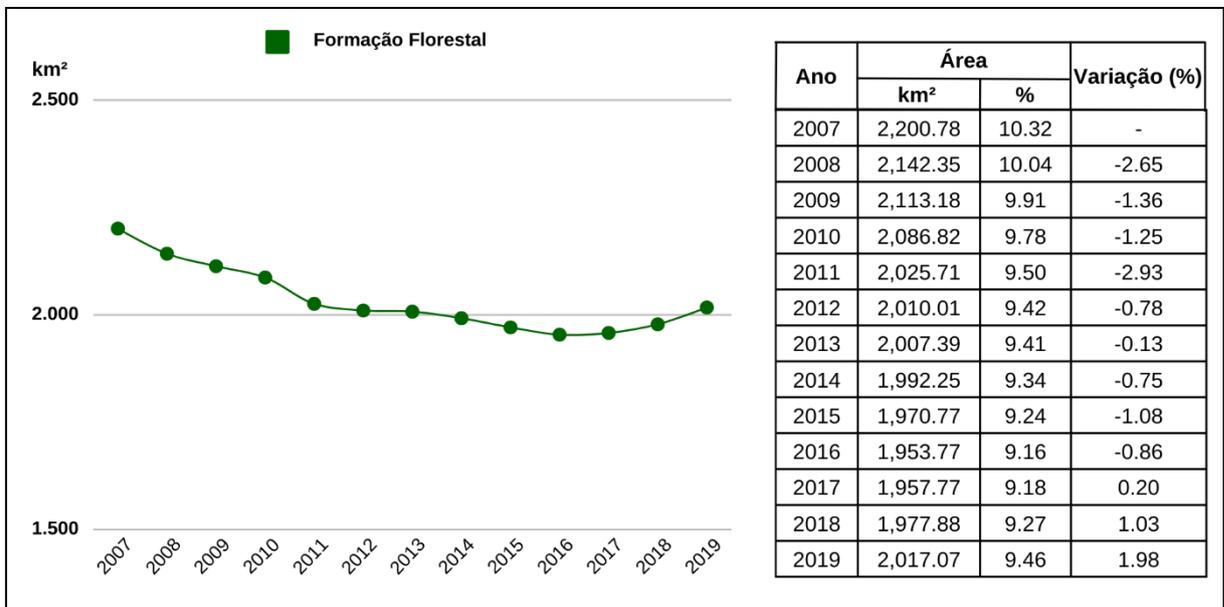


Fonte: Mapbiomas (2020). Elaboração gráfica: o autor (2022)

Quanto a formação florestal, neste caso, geralmente associada a corpos hídricos ou áreas com lençol freático raso, esta apresentou declínios recorrentes em sua área tal qual a formação savânica, chegando a perder 243,01 km<sup>2</sup> entre 2007 e 2017 (11% da área inicial),

porém, nos anos de 2017 e 2019 apresentou aumentos progressivos sutis, sendo 0,20%; 1,03% e 1,98% respectivamente, com representado apresentada na figura 13.

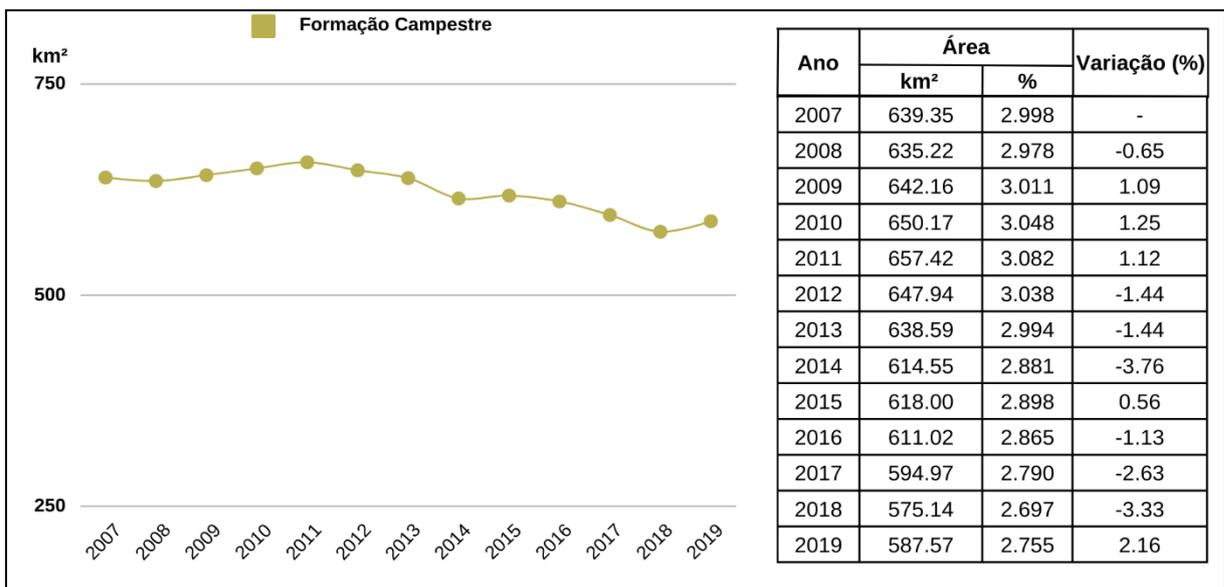
Figura 13 - Representação gráfica das áreas de Formação Florestal na BHRF entre 2007 e 2019.



Fonte: Mapbiomas (2020). Elaboração gráfica: o autor (2022)

Dentre as formações naturais, a campestre é a que ocupa a menor área, cerca de 587,57 km<sup>2</sup> em 2019, e acompanhou o comportamento das demais no período de análise, com diminuição no período total, apesar de alguns casos de isolados de crescimento, como demonstrado na figura 14. A maior área contínua desse tipo de formação ocorre próximo à área do Projeto de Irrigação Rio Formoso.

Figura 14 - Representação gráfica das áreas de Formação Campestre na BHRF entre 2007 e 2019.



Fonte: Mapbiomas (2020). Elaboração gráfica: o autor (2022)

## 5.4 Corpos Hídricos

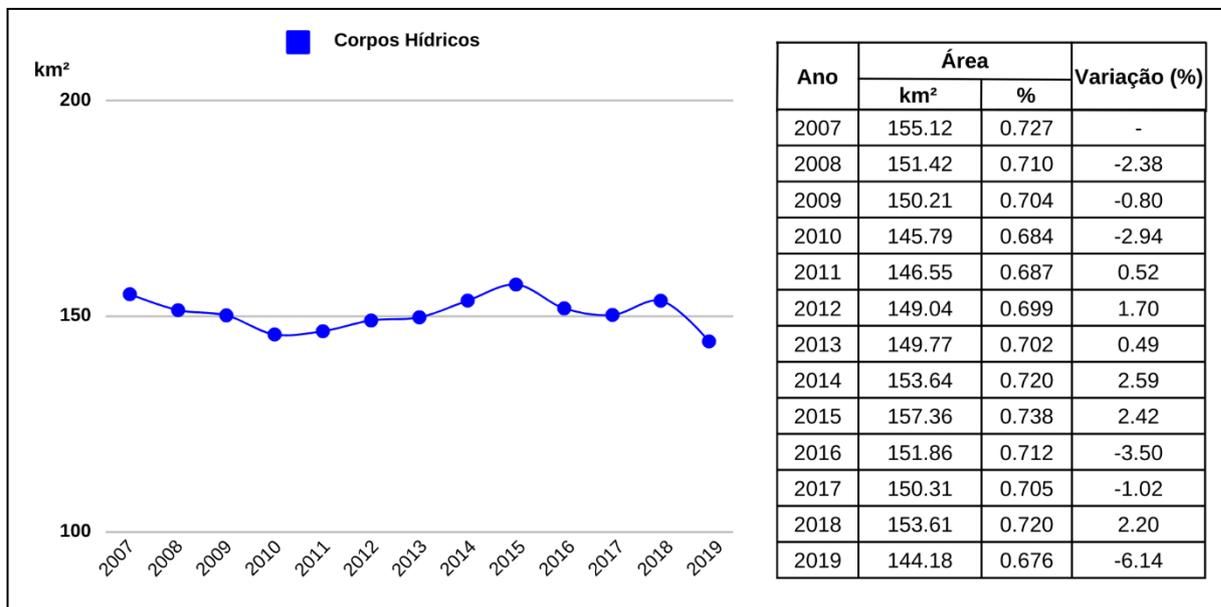
No que tange ao comportamento dos corpos hídricos na BHRF, algumas peculiaridades da região merecem destaque, visto que esta classe não se refere apenas aos corpos hídricos naturais, como rios e lagos, mas também aqueles com intervenção humana, tais como barragens para captação de água.

Os dados em questão dizem respeito apenas as manchas classificadas como “água” pelo algoritmo utilizado no processo de análise do Mapbiomas (2020), não podendo estimar, por exemplo, o volume real do referido recurso.

Observando as informações levantadas, entre 2007 e 2019, houve redução total nas áreas com corpos hídricos na ordem de -10,94 km<sup>2</sup>, cerca de -7,05%. Durante os anos de análise, a classe apresentou ampliação e redução sutis, passando por período de baixas de 2007 a 2010, alta de 2010 a 2015 e posterior redução de 2015 a 2017, como demonstrado na figura 15.

Destacam-se como período de maior aumento na classe a entre 2013 e 2014, enquanto que as baixas mais expressivas ocorreram entre os anos de 2018 e 2019 (-6,14%) e 2015 e 2016 (-3,5%), ano de relato do evento hidrológico extremo de escassez.

Figura 15 - Representação gráfica dos corpos hídricos na BHRF entre 2007 e 2019



Fonte: Mapbiomas (2020). Elaboração gráfica: o autor (2022)

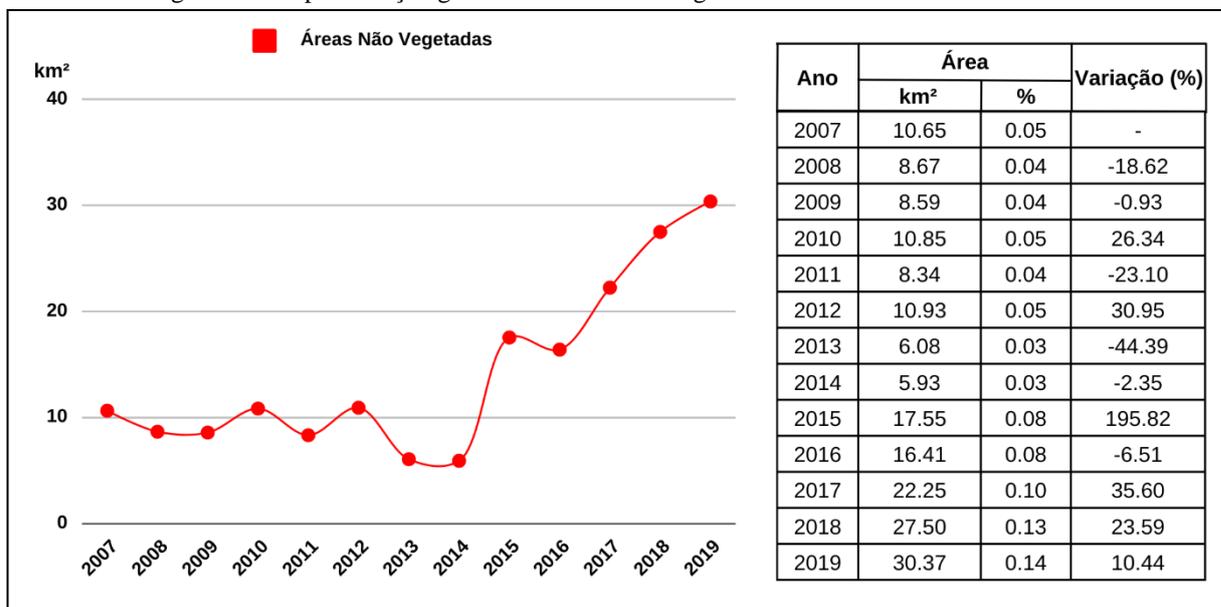
Considerando a existência de atividade produtiva com uso consuntivo de água na BHRF, convém mencionar que tanto as obras civis não lineares (barragens para captação), quanto a própria atividade de agricultura irrigada, independentemente do método utilizado, são passíveis de licenciamento ambiental, de acordo os termos de referência disponibilizados pelo Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS).

No contexto estadual, o evento hidrológico extremo ocorrido no ano de 2016 tornou a situação tão emergencial que o órgão gestor suspendeu todas as outorgas para captação pelo período de 04 meses como consta na Portaria n° 300 de 22 de agosto de 2016, publicada no Diário Oficial do Estado n° 4689, de 12 de agosto do mesmo ano, abrangendo os corpos d'água encontrados em situação crítica quanto à vazão e destacando, em seu art. 2º, a suspensão das captações em todas as bacias do Rio Formoso.

### 5.5 Outras Áreas

Demais áreas foram contabilizadas no processo de análise, sendo classificadas como áreas não vegetadas, com dados demonstrados na figura 16. Destaca-se que nesta classe podem estar contidas áreas de mineração e infraestrutura urbana que não foram contabilizadas em suas respectivas classes, como por exemplo, estradas pavimentadas ou não, mas também está relacionada ao solo exposto por diferentes processos. Desta forma, o acompanhamento dos dados é interessante para casos de omissão na categorização em outras classes pelo algoritmo, bem como o processo de regeneração da vegetação em caso de supressão anterior.

Figura 16 - Representação gráfica das áreas não vegetadas na BHRF entre 2007 e 2019



Fonte: Mapbiomas (2020). Elaboração gráfica: o autor (2022)

No contexto da BHRF as áreas não vegetadas são pouco expressivas, ocupando em 2019 apenas 0,14% (30,37 km²), o máximo alcançado em todo período de análise, tendo apresentado o valor mínimo no ano de 2014 com 5,93 km² (0,03%). Geralmente esta classe aparece em áreas diferentes da ocorrência no ano anterior, dificultando a sua representação cartográfica satisfatória por possuir diversos pontos dispersos, sem formar área contínua que se destaque no mapa.

## **6. ZONEAMENTO PROPOSTO PELO PLANO DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO**

A Lei Estadual nº 1.307 de 22 de março de 2002 instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos no Tocantins (PERH/TO), objetivando efetivar em âmbito estadual os objetivos, diretrizes e fundamentos na gestão de recursos hídricos dispostos na PNRH. Dentre seus instrumentos, a legislação elenca o Plano de Bacia Hidrográfica (PBH), incluindo-se o enquadramento dos corpos de água em classe de uso preponderante (TOCANTINS, 2002).

A respeito da elaboração do PBH, a legislação estabelece uma série de itens que devem constar em seu conteúdo mínimo, a citar o diagnóstico de uso de recursos, perspectivas de crescimento demográfico e atividades produtivas, modificações dos padrões de uso e cobertura do solo, balanço hídrico, identificação de conflitos potenciais, metas de racionalização, diretrizes de outorga, cobrança de taxas, proposta de criação de áreas sujeitas a restrição de uso, gestão de águas subterrâneas, bases para captação de recursos, dentre outros.

No ano de 2007, foi concluído o Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (PBH-Formoso), abrangendo dentre outros aspectos, a caracterização ambiental, identificação e projeção de usos de água, diagnóstico socioeconômico e a realização do zoneamento visando o desenvolvimento sustentável para promoção de atividades compatíveis com as características ambientais da BHRF (TOCANTINS, 2007).

O documento foi elaborado em três etapas, sendo a primeira de diagnóstico e prognóstico; a segunda fase de definição de alternativas para compatibilização das disponibilidades e demandas hídricas; e a terceira fase contendo os planos de ações para recursos hídricos, estabelecendo, dentre eles, o zoneamento da BHRF (TOCANTINS, 2007).

No subitem a seguir, será abordado o processo metodológico de construção do zoneamento proposto no PBH-Formoso e seu reflexo na dinâmica de cobertura e uso da terra na região de estudo, além da comparação com demais zoneamentos propostos para bacias hidrográficas no estado do Tocantins.

### **6.1 Zoneamento Ambiental para Desenvolvimento Sustentável**

No que tange ao zoneamento da BHRF, o Relatório Síntese do PBH-Formoso (TOCANTINS, 2007, p. 30), estabelece quatro zonas distintas, descritas a seguir, com respectivas áreas descritas na Tabela 5 e representação na figura 17:

- Zona Alta de Utilização Agrícola (ZAUA), com condições de permitir uma agricultura mais intensiva com culturas anuais, desde que adotadas práticas de

conservação de solos, principalmente relacionadas ao controle da erosão (Latosolo Vermelho Amarelo);

- Zona Baixa de Utilização Agrícola (ZBUA), também com condições de permitir uma agricultura mais intensiva com culturas anuais, representadas pelo arroz irrigado por inundação no período chuvoso e culturas diversas no período seco do ano, através de sub-irrigação (Plintossolos);
- Zona Alta de Utilização Agrícola Restrita (ZAUAR), que apresenta sérias restrições para o desenvolvimento de uma agricultura mais intensiva, devido às concreções existentes no perfil do solo (Solos Concrecionários) ou a sua fragilidade ambiental e baixa capacidade de suporte (Podzólico Vermelho Amarelo e Areias Quartzosas); e
- Zona de Preservação Ambiental (ZPA), que compreende os solos impróprios para a exploração agrícola intensiva (Solos Litólicos) ou de alto valor ecológico (Hidromórfico Gleizado).

Tabela 5 - Área das zonas segundo as classes de solos e capacidade de uso na bacia do Rio Formoso.

Zoneamento	Sigla	Classe de Capacidade de Uso	Classe de Solos	Área	
				km <sup>2</sup>	%
Zona Alta de Utilização Agrícola	ZAUA	IVe	Latosolo Vermelho-Amarelo (LV)	6.836,80	33,07
Zona Baixa de Utilização Agrícola	ZBUA	IVi	Plintossolo (PI)	3.105,52	15,02
Zona Alta de Utilização Agrícola Restrita	ZAUAR	VI	Solos Concrecionários (SC), Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Areias Quartzosas (AQ)	9.252,6	44,76
Zona de Preservação Ambiental	ZPA	VII VIII	Solos Litólicos (R) Hidromórfico Gleizado (HG)	1.477,83	7,15
<b>TOTAL</b>				<b>20.672,75</b>	<b>100</b>

Fonte: Relatório Síntese do Plano de Bacia do Rio Formoso (Tocantins, 2007, p. 30).

Sendo a que ocupa a maior parte do território com 44,76%, a ZAUAR está localizada na faixa que compreende o alto e médio curso dos afluentes do Rio Formoso, principalmente nas áreas a leste e nordeste. A ZAUA, por sua vez, concentra-se na porção sul, com algumas manchas mais expressivas na região central. Tanto a ZBUA quanto a ZPA estão associadas aos corpos hídricos mais expressivos em volume da BHRF, sendo a primeira no médio e baixo curso do rio e a segunda ainda mais próxima dos leitos e pequenas áreas isoladas nas cabeceiras da porção sul.



Entretanto, a classe IVe apresenta limitações severas para culturas anuais e não são adequadas para cultivos intensivos, com sérios problemas de mecanização e risco severo de erosão (Cavedon; Shinzato, 2012), o que por si só é peculiar quando nomeado como área de “alta utilização agrícola” pelo plano de uso da bacia, e considerando os usos existentes na época de elaboração.

Também faz parte do grupo A, a ZBUA, classificada como “IVi”, categoria inexistente na metodologia utilizada. Devido as características ambientais da região, sugere-se a reclassificação para “IVa”, correspondente a solos com riscos muito altos de inundação. A ZAUAR, classificada como VI, tem como definição terras impróprias para culturas anuais, porém, com possibilidade de uso para culturas permanentes, como pastagens e reflorestamento.

Visto isso, nas tabelas 6, 7 e 8 são apresentados os dados de cobertura e uso para os anos de 2007, início do plano da bacia e 2019, ano final de análise, para comparação do comportamento das classes em cada zona. As tabelas apresentam resultados peculiares do ponto de vista do planejamento, o que evidencia que as zonas estabelecidas no PBH-Formoso tiveram pouco peso no processo decisório de conversão de áreas.

A ZAUA corresponde a 33,07% da área total da bacia, e apresentou 1.330,243 km<sup>2</sup> de alteração na sua área inicial, o que corresponde a cerca de 19,46%. Teve ampliação de 139,59% das áreas não vegetadas; 1.066,48% das áreas de lavoura temporária, 6,46% das áreas de pastagem e 2.522,55% de áreas de cultivo de soja.

Entretanto, o que mais chama atenção, justamente por ser a classe com “maior” potencial agrícola, segundo o zoneamento, foi a manutenção das áreas de formação florestal, que apresentou variação percentual mais baixa (-0,003%) dentre todas as classes em todas as zonas, o que correspondeu a uma redução de -1,072 km<sup>2</sup>, mas que como veremos adiante, apesar do número absoluto semelhante, a ocorrência da vegetação não foi necessariamente na área original.

Nesta mesma zona, as demais classes naturais, formação campestre e savânica, apresentaram redução de -10,52% e -18,07%, respectivamente, enquanto os corpos hídricos aumentaram em 10,77%, possivelmente pela utilização de barramentos em pequenos cursos d’água nas propriedades rurais.

Tabela 6 - Cobertura e uso da terra em valor absoluto e percentual de acordo zonas estabelecidas pelo zoneamento do plano de bacia para o ano de 2007.

Classes de Uso	ZAUA		ZAUAR		ZBUA		ZPA	
	km <sup>2</sup>	%						
Áreas não Vegetadas	4,49	0,07	4,79	0,05	0,57	0,02	0,51	0,03
Formação Campestre	56,41	0,83	148,62	1,61	384,78	12,39	44,52	3,01
Formação Florestal	377,88	5,53	676,91	7,32	717,57	23,11	391,74	26,51
Formação Savânica	3.080,79	45,07	5.183,19	56,02	1.349,64	43,46	639,76	43,29
Infraestrutura Urbana	7,07	0,10	3,86	0,04	1,02	0,03	0,02	0,00
Lavouras Temporárias	6,90	0,10	6,01	0,06	58,27	1,88	3,00	0,20
Pastagem	3.279,16	47,97	3.177,97	34,35	508,16	16,37	355,63	24,06
Rio	12,83	0,19	46,83	0,51	57,16	1,84	37,64	2,55
Soja	10,63	0,16	3,89	0,04	27,99	0,90	4,97	0,34
<b>Total</b>	<b>6.836,17</b>	<b>100,00</b>	<b>9.252,08</b>	<b>100,00</b>	<b>3.105,17</b>	<b>100,00</b>	<b>1.477,78</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Mapbiomas (2020); Elaboração: o autor, 2022.

Tabela 7 - Cobertura e uso da terra em valor absoluto e percentual de acordo zonas estabelecidas pelo zoneamento do plano de bacia para o ano de 2019.

Classes de Uso	ZAUA		ZAUAR		ZBUA		ZPA	
	km <sup>2</sup>	%						
Áreas não Vegetadas	10,76	0,16	13,32	0,14	4,20	0,14	1,21	0,08
Formação Campestre	50,48	0,74	143,10	1,55	353,36	11,38	37,88	2,56
Formação Florestal	377,87	5,53	645,41	6,98	598,91	19,29	361,52	24,46
Formação Savânica	2.524,21	36,92	4.330,61	46,81	1.193,76	38,44	553,46	37,45
Infraestrutura Urbana	8,44	0,12	5,92	0,06	1,15	0,04	0,18	0,01
Lavouras Temporárias	80,54	1,18	54,07	0,58	149,92	4,83	36,54	2,47
Pastagem	3.490,87	51,07	3.857,62	41,69	552,55	17,79	413,28	27,97
Corpos Hídricos	14,22	0,21	42,27	0,46	49,98	1,61	36,96	2,50
Soja	278,74	4,08	159,77	1,73	201,30	6,48	36,74	2,49
<b>Total</b>	<b>6.836,12</b>	<b>100,00</b>	<b>9.252,09</b>	<b>100,00</b>	<b>3.105,13</b>	<b>100,00</b>	<b>1.477,78</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Mapbiomas (2020); Elaboração: o autor, 2022.

Tabela 8 - Variação percentual (%) entre os anos de 2007 e 2019, de acordo classe do zoneamento da bacia hidrográfica do rio formoso.

Classe	ZONAS (%)			
	ZAUA	ZAUAR	ZBUA	ZPA
Áreas não vegetadas	139,59	177,89	637,96	139,57
Formação Campestre	-10,52	-3,72	-8,17	-14,91
Formação Florestal	0	-4,65	-16,54	-7,71
Formação Savânica	-18,07	-16,45	-11,55	-13,49
Infraestrutura Urbana	19,38	53,33	12,7	612,48
Lavouras Temporárias	1.066,48	800,08	157,27	1.117,85
Pastagem	6,46	21,39	8,74	16,21
Corpos Hídricos	10,77	-9,75	-12,57	-1,79
Soja	2.522,55	4.005,82	619,1	639,23

Fonte: Mapbiomas (2020); Elaboração: o autor, 2022.

Com base nas matrizes de transição dispostas no apêndice A desta dissertação, elaboradas para cada classe desse zoneamento, tem-se que na ZAUA, a formação natural com maior extensão de conversão para áreas agrícolas foi a formação savânica, que perdeu -703,362 km<sup>2</sup>, distribuídos em 13,574 km<sup>2</sup> para lavouras temporárias, 666,112 km<sup>2</sup> para pastagem e 23,676 km<sup>2</sup> para cultivos de soja. As contribuições para crescimento dessa classe ocorreram de forma predominante pela mudança de áreas de formação florestal (19,259 km<sup>2</sup>) e pastagem (179,756 km<sup>2</sup>).

A formação florestal teve pouca variação, porém, com a realização da análise combinatória, observou-se que 19,259 km<sup>2</sup> e 25,937 km<sup>2</sup> dessa vegetação foram convertidos para formação savânica e pastagem, com benefícios pouco expressivos para demais classes (menores que 1 km<sup>2</sup>). O que colaborou para os ganhos da categoria foram as conversões inversas, especialmente 38,201 km<sup>2</sup> de formação savânica, além de 6,79 km<sup>2</sup> de pastagem.

Por outro lado, as formações campestre e savânica apresentaram redução final de -5,573 km<sup>2</sup> e -553,926 km<sup>2</sup>, respectivamente, ambas com principal substituição em favor da classe de pastagem. Esta, por sua vez, apresentou crescimento de 210,148 km<sup>2</sup>, apesar da conversão de 64,667 km<sup>2</sup> para lavouras temporárias e 240,730 km<sup>2</sup> para cultivos de soja.

Quanto a ZAUAR, maior zona com 44,76% da área total da BHRF, esta apresentou alteração em 18,91% do território, correspondendo a uma área de 1.749,728 km<sup>2</sup>. Observou-se a ampliação das áreas não vegetadas em 177,89%, diminuição das áreas naturais (-3,72% de formação campestre, -4,65% de formação florestal e -16,45% de formação savânica), além da ampliação em 800% das áreas de lavouras temporárias, 21,39% das áreas de pastagem e significativos 4.005,82% de áreas de cultivo de soja. Também, nesta classe que se apresenta a maior parte dos núcleos urbanos, que obtiveram aumento de 53,33% em sua extensão.

A análise da matriz de transição evidenciou o crescimento de 1.181,223 km<sup>2</sup> de áreas agrícolas sobre áreas naturais. Nesta zona, todas as classes agrícolas tiveram papel significativo em termos territoriais, apesar de que em relação percentual, a classe de pastagem foi a maior responsável pela alteração, com 1.121,669 km<sup>2</sup>, distribuídos em 28,986 km<sup>2</sup> de formação campestre, 51,271 km<sup>2</sup> de formação florestal e 1.041,411 km<sup>2</sup> de formação savânica.

A classe de lavouras temporárias teve maior participação na alteração de formação savânica, com 14,707 km<sup>2</sup>, enquanto que os cultivos de soja cresceram também em formação florestal (5,565 km<sup>2</sup>), além do aumento de 34,51 km<sup>2</sup> sobre a primeira classe natural mencionada.

A ZBUA corresponde a 15,02% da extensão total da BHRF e foi a que apresentou relativamente o maior percentual de alteração, cerca de 25,21%, correspondente a 782,696 km<sup>2</sup>.

Nesta zona ocorreu o maior aumento nas áreas não vegetadas, com incremento de 637,96%, também diminuição mais expressiva de formação florestal com -16,54%, seguida pela diminuição das demais áreas naturais, -8,17% formação campestre e -11,5% formação savânica; redução em corpos hídricos -12,57% e ampliação das áreas agrícolas (157,27% em lavouras temporárias, 8,74% em pastagem e 619,1% em soja).

Nesta classe ocorreu o maior crescimento de lavouras temporárias e cultivos de soja diretamente sobre áreas naturais, com 61,632 km<sup>2</sup> e 57,617 km<sup>2</sup>, respectivamente, distribuídos em 12,284 km<sup>2</sup> e 10 km<sup>2</sup> de formação campestre, 5,702 km<sup>2</sup> e 8,572 km<sup>2</sup> de formação florestal e 44,275 km<sup>2</sup> e 39,041 km<sup>2</sup> de formação savânica.

A ZPA, que deveria ter papel de preservação do equilíbrio ecológico da bacia foi a que apresentou maior diminuição interna de área de formação campestre, com -14,91%, também apresentando redução de -13,49% em formação savânica e -7,71% em formação florestal, com aumento das áreas agrícolas de 1.117% em lavouras temporárias, 16,21% em pastagem e 639,23% em cultivo de soja. Ao todo, cerca de 19,7% da bacia sofreu algum tipo de alteração de cobertura e uso, totalizando 291,125 km<sup>2</sup>.

Traduzindo para dados quantitativos, as áreas naturais perderam 122,681 km<sup>2</sup>, fruto do balanço de ganho de 76,63 km<sup>2</sup> e perda de 199,311 km<sup>2</sup>. As transformações ocorreram sobretudo em favor das áreas agrícolas, principalmente para pastagens, que recebeu 137,774 km<sup>2</sup>, distribuídos em 8,435 km<sup>2</sup> de formação campestre, 11,022 km<sup>2</sup> de formação florestal e 118,317 km<sup>2</sup> de formação savânica.

Ressalta-se que nessa zona, as demais classes agrícolas também obtiveram crescimento sobre áreas da formação natural, com 7,048 km<sup>2</sup> convertidos em lavouras temporárias e 5,304 km<sup>2</sup> para cultivo de soja, entretanto, o aumento dessas classes foi marcado pela conversão a partir de áreas de pastagem (26,924 km<sup>2</sup> para lavouras temporárias e 26,289 km<sup>2</sup> para soja).

Internamente, no conjunto natural, as transformações mais significativas ocorreram entre as formações savânica e florestal, com 11,478 km<sup>2</sup> indo da primeira para a segunda e 28,965 km<sup>2</sup> fazendo a transformação inversa.

Em face dos dados expostos, compreende-se que o zoneamento do PBH-Formoso pouco influenciou o processo de transição de cobertura e uso na área de estudo. Infere-se que o modo como foi estruturado oferece limitações quanto a aplicabilidade, visto que a área de estudo já possuía usos bem definidos na época da elaboração. Compreende-se que o zoneamento não deve ser apenas um instrumento que corrobore com os usos já existentes, mas desconsiderar uma série de variáveis disponíveis torna-o mais superficial e deixa de lado

potencialidades que os atores locais podem visualizar e utilizar de modo prático, além da falta de articulação entre os entes do poder público.

Apesar da elaboração do PBH-Formoso ter tido, formalmente, a participação de diferentes órgãos governamentais, não fica claro se foi incorporado na rotina desses órgãos esses novos mecanismos no processo de tomada de decisão, pois, como demonstrado, nem mesmo a zona de proteção ambiental (ZPA) teve comportamento similar ao que se esperava, não tendo cumprido o seu papel teórico.

Como pauta para estudos posteriores, é interessante a pesquisa documental que demonstre a espacialização das áreas formalmente licenciadas para desmatamento e para implantação de empreendimentos agrícolas a partir da vigência do PBH-Formoso, elucidando se a dinâmica de uso e cobertura nas zonas é fruto da possível omissão dos órgãos licenciadores (estadual e municipais) que desconsideraram o zoneamento; não o consideraram tecnicamente satisfatório para utilização prática ou se o ato de supressão vegetal e conversão de áreas parte dos proprietários foi irregular, possibilitando discussão para revisão das zonas estabelecidas e estabelecimento metas factíveis.

No contexto estadual, no site da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins (SEMARH/TO) consta a elaboração de 07 (sete) Planos de Bacias Hidrográficas no Estado, sendo estes para as bacias dos rios Balsas e São Valério; Rio Formoso; Rio Manuel Alves; Rio Lontra e Corda; Rio Palma; Entorno do Lago da UHE Luís Eduardo Magalhães; Rio Tocantins e Araguaia, sendo este último de elaboração da Agência Nacional das Águas e Saneamento (ANA).

Em comparação com demais PBHs, apenas o PBH Lontra e Corda e PBH Balsas São Valério citam como instrumento o zoneamento, sendo em ambos a citação como “Zoneamento Ecológico-Econômico”, tendo sido o primeiro elaborado em 2002 e o segundo em 2009.

Entretanto, o PBH Balsas - São Valério não realiza nenhum incremento na compartimentação das respectivas bacias hidrográficas a fim de aprimorar a gestão de território. No arquivo disponibilizado, cita-se no tópico de “Cenário de Crescimento Econômico Negociado” que configura-se como documentos de planejamento o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região, Zoneamento Ecológico Econômico e Enquadramento de Corpos d’água.

Prosseguindo com a averiguação das informações, o enquadramento de corpos d’água deve ser embasado nas premissas dos cenários futuros e potencialidades e aptidões de uso do solo obtidas no Zoneamento Ecológico e Econômico do Estado, encerrando todas as citações ao termo zoneamento no estudo.

Em contrapartida, o PBH Lontra e Corda também partiu da premissa do Zoneamento Ecológico-econômico como interface de filtro para demandas setoriais em face a disponibilidade de recursos naturais, entretanto, o documento elaborou uma proposta complementar ao ZEE.

O PBH Lontra e Corda estabelece que:

“Embora não seja explicitamente considerado instrumento de gestão na Política Nacional de Recursos Hídricos, o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) é um recurso metodológico utilizado para definir as unidades territoriais básicas de informação e gestão num determinado território, neste caso, delimitado pelas bacias hidrográficas em estudo. Portanto, pode ser considerado um instrumento-chave para a racionalização da ocupação dos espaços e para o redirecionamento de atividades produtivas, fornecendo subsídios para a formulação de estratégias e ações associadas a Planos Regionais de Desenvolvimento Sustentável, incluindo entre eles Planos de Bacias Hidrográficas.” (TOCANTINS, 2002)

A proposta de zoneamento apresentado teve como eixos condicionantes aspectos físicos-bióticos (pedologia, cobertura vegetal, disponibilidade hídrica, pontos para barramento, locais de interesse ambiental/patrimônio natural), socioeconômicos (áreas urbanas, sítios de interesse histórico-cultural) e legal e normativo (localização de áreas de preservação obrigatórias, unidades de conservação implantadas ou para implantação).

Partindo desse cruzamento, chegou-se a três áreas: produtivas, críticas e institucionais, que subdividem-se em quatro zonas de potenciais usos do solo para atividades produtivas. Obviamente o estudo em questão merece maior detalhamento para averiguação da efetividade em sua aplicação e acurácia dos dados utilizados em sua elaboração, contudo, a utilização de maior número de variáveis torna o processo de tomada de decisão menos tendencioso.

Tomando como referência a política nacional, a Lei Federal nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012) estabelece as normas gerais para proteção da vegetação, tendo como um dos destaques a reserva legal, sendo esta conceituada no art. 3º inc. III como:

Reserva legal: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (BRASIL, 2012).

Em consulta realizada aos dados disponibilizados no Cadastro Ambiental Rural – CAR (2021), verificou-se que apenas a ZPA abrange 1.418 propriedades rurais, que juntas possuem 1.696,446 km<sup>2</sup> de reserva legal proposta. Desse valor, 457,43 km<sup>2</sup> estão dispostos na zona de proteção ambiental estabelecida pelo plano de bacia, o que corresponde a 26,96% da reserva legal total e 30,95% da zona em análise.

Sendo a área da ZPA de 1.447,83 km<sup>2</sup>, o somatório apenas das reservas legais, desconsiderando outras áreas de preservação previstas em lei, como Área de Preservação Permanente – APP, seria suficiente para a manutenção desta com vegetação nativa ou em processo de regeneração, evidenciando que o zoneamento pouco influenciou no processo de tomada de decisão de usos da terra dentro da bacia, tanto por produtores, quanto pelo órgão gestor que valida as informações fornecidas para averbação da reserva legal.

Tendo feita a análise do zoneamento na BHRF e visto a pouca aplicabilidade prática, convém a análise detalhada do processo de transição de cobertura e uso que será discutido a seguir.

## 7. DINÂMICA DE TRANSIÇÃO DE CLASSES DE COBERTURA E USO DA TERRA

A BHRF apresenta considerável diversidade de classes temáticas de cobertura e uso da terra, e como visto anteriormente, a dinâmica de transição entre estas unidades não demonstrou ter tido grande influência por parte das políticas de planejamento territorial, a exemplo do plano de bacia aprovado para a região.

A análise isolada do percentual de contribuição de cada classe para o conjunto da área não fornece o real entendimento do processo de alteração e dificulta a realização de inferências mais precisas. Quando os dados matriciais de cobertura e uso são sobrepostos, é possível analisar a alteração dos valores correspondentes a área em função do tempo, pixel a pixel, permitindo compreender como e onde ocorreram as mudanças identificadas anteriormente de forma bruta.

Na Tabela 9, consta a área em km<sup>2</sup> e o respectivo percentual de alteração e de permanência das classes de cobertura e uso em pares de anos consecutivos.

Tabela 9 - Valores de permanência e alteração de cobertura e uso da terra na Bacia do Rio Formoso de 2007 a 2019.

Período de Transição	Cobertura e Uso da Terra			
	Persistência (km <sup>2</sup> )	%	Alteração (km <sup>2</sup> )	%
2007_2008	20.737,44	97,23	591,13	2,77
2008_2009	20.812,10	97,58	516,47	2,42
2009_2010	20.826,13	97,64	502,44	2,36
2010_2011	20.720,41	97,15	608,16	2,85
2011_2012	20.714,13	97,12	614,44	2,88
2012_2013	20.612,72	96,64	715,85	3,36
2013_2014	20.488,09	96,06	840,48	3,94
2014_2015	20.585,60	96,52	742,97	3,48
2015_2016	20.685,84	96,99	642,73	3,01
2016_2017	20.665,31	96,89	663,26	3,11
2017_2018	20.486,52	96,05	842,05	3,95
2018_2019	20.839,62	97,71	488,95	2,29

Fonte: o autor, 2021.

Em média, anualmente, cerca de 3,04% da área total da bacia sofreu algum tipo de alteração e 96,96% mantiveram uso ou cobertura igual ao ano anterior, com pequenas variações nesse percentual no conjunto de anos analisados, demonstrando o constante processo de alteração existente na área de estudo.

Durante todo o período do estudo, as classes correspondentes a áreas agrícolas e naturais foram as grandes responsáveis pelas mudanças mais significativas na BHRF, de modo

que as demais classes (corpos hídricos, áreas não vegetadas e infraestrutura urbana) não chegaram a participar individualmente em nem 1% das áreas transicionadas.

Para melhor organização dessa dissertação, todas as matrizes de transição elaboradas para esse estudo estão dispostas no Anexo A, para verificação dos valores detalhados de cada transição e a discussão a seguir contempla dos processos mais significativos ocorridos em cada transição.

Partindo para análise ano a ano, a transição ocorrida entre 2007 e 2008 (figura 18) apresentou 67 combinações, dentre as 81 possibilidades, sendo destas 09 de manutenção das áreas e 56 alterações de valores entre as classes, correspondendo a 590,83 km<sup>2</sup>. As mudanças ocorreram em toda a extensão da bacia, sendo as principais, no quesito extensão contínua, ocorrendo próximas a sede municipal de Lagoa da Confusão, sudeste e sul do município de Dueré, Projeto de Irrigação Formoso em Formoso do Araguaia e próximo à divisa de Araguaçu e Porangatu (GO).

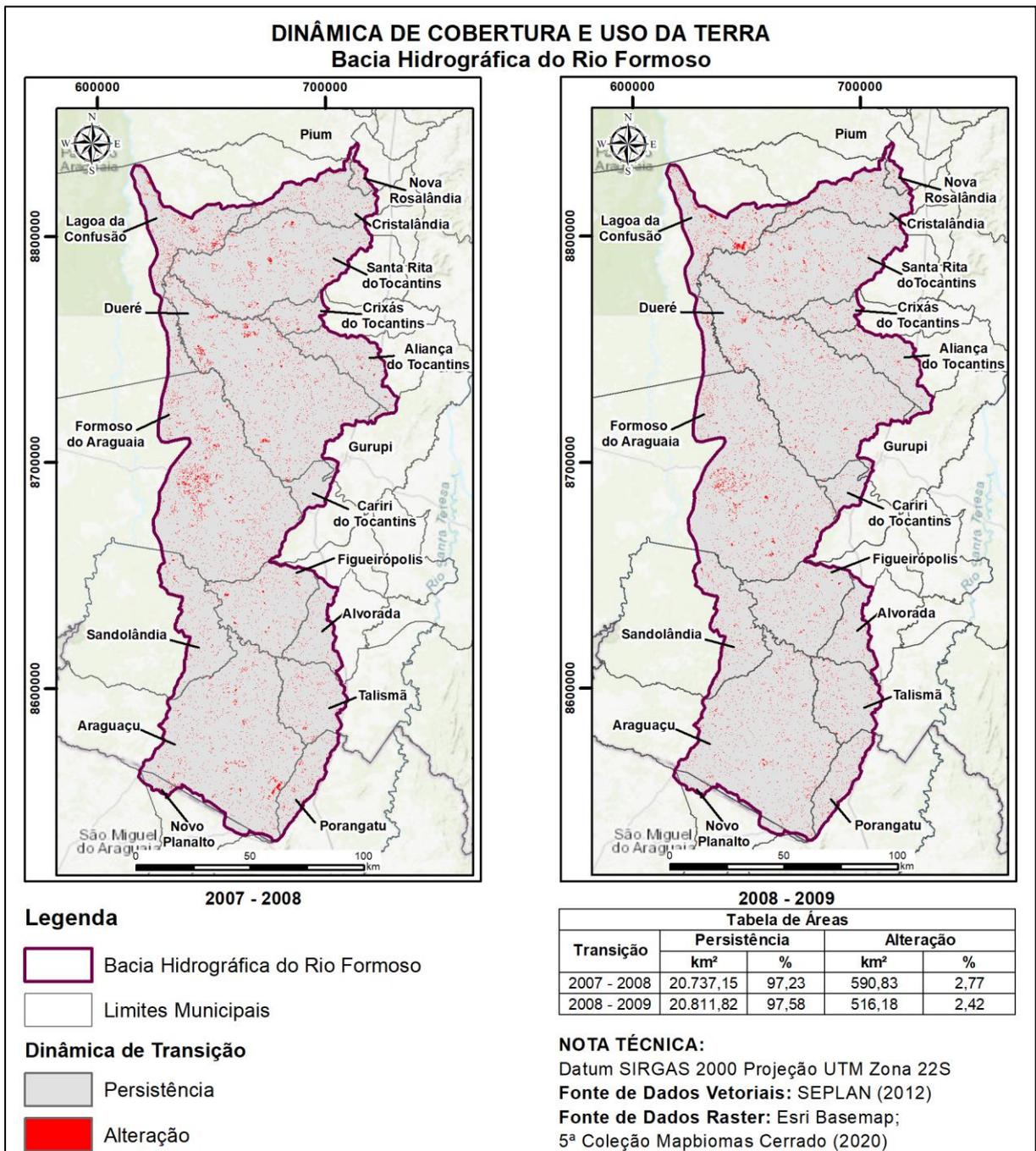
As classes correspondentes as áreas de vegetação natural (formações campestre, florestal e savânica) demonstraram juntas, permanência em 12.980,68 km<sup>2</sup>, tendo agregado 274,67 km<sup>2</sup> de outros usos e perdido 370,84 km<sup>2</sup>, com saldo final negativo de -96,18 km<sup>2</sup> em relação ao ano anterior. Nas três classes o comportamento foi similar, tendo como principal beneficiada pela perda de áreas a classe de Pastagem, que adquiriu 18,178 km<sup>2</sup>; 16,067 km<sup>2</sup> e 222,750 km<sup>2</sup> das classes citadas, respectivamente, totalizando 256,97 km<sup>2</sup> de avanço sobre áreas naturais.

A transição também foi significativa, mas em menor escala, para as classes de lavouras temporárias e soja, onde a primeira agregou 11,614 km<sup>2</sup> e a segunda 2,573 km<sup>2</sup> das áreas naturais. As demais classes de uso antrópico contribuíram de modo menos significativo nas três classes, porém, o comportamento interno das classes naturais demonstrou transição de 4,91 km<sup>2</sup> da formação campestre e 59,568 km<sup>2</sup> da formação florestal para a formação savânica, principal beneficiada.

Neste período de transição, as áreas agrícolas foram destaque com ganhos totais de 101,45 km<sup>2</sup>, distribuídos em 8,218 km<sup>2</sup> para lavouras temporárias; 77,226 km<sup>2</sup> para pastagens e 16,010 km<sup>2</sup> para soja, oriundos principalmente das áreas naturais, como explicado nos parágrafos anteriores.

Destaca-se a contribuição interna desse conjunto de classes, onde a principal beneficiada foi a classe de soja, com ganhos de 6,101 km<sup>2</sup> oriundos de outras lavouras temporárias e 10,88 km<sup>2</sup> advindos de pastagem, quase o dobro do valor que a pastagem cedeu para lavouras temporárias (5,849 km<sup>2</sup>).

Figura 18 - Dinâmica de transição de cobertura e uso da terra para os anos de 2007 - 2008 e 2008 - 2009.



Elaboração gráfica: o autor (2022)

Seguindo para as transições entre 2008 e 2009 (figura 18), houve aumento no número de interações, com as 09 habituais manutenções, correspondentes a 20.812,10 km<sup>2</sup> e 61 transições de classe, com 516,57 km<sup>2</sup>. Neste período, destaca-se a transição ocorrida em Lagoa da Confusão, próximo à divisa com o município de Santa Rita do Tocantins, e demais pontos dispersos por toda a bacia.

As áreas naturais tiveram juntas modesto avanço total, com 5,357 km<sup>2</sup>, fruto dos ganhos totais de 6,654 km<sup>2</sup> de área da formação campestre, oriundos principalmente de áreas de pastagem (20,799 km<sup>2</sup>); e da formação savânica, com saldo positivo de 26,206 km<sup>2</sup>, que obteve de forma mais expressiva 6,415 km<sup>2</sup> da formação campestre, 34,364 km<sup>2</sup> da área da formação florestal e 171,566 km<sup>2</sup> da classe de pastagem. O avanço desse conjunto não foi maior por conta da diminuição em -27,503 km<sup>2</sup> da área de formação florestal.

No período de análise, o conjunto de áreas agrícolas apresentou diminuição total de 4,572 km<sup>2</sup>, apesar do aumento em 5,159 km<sup>2</sup> de lavouras temporárias e 11,068 km<sup>2</sup> de cultivo de soja. A responsável por esse comportamento foi a diminuição em 20,799 km<sup>2</sup> de áreas de pastagem, que perdeu mais espaço para áreas savânicas (-171,566 km<sup>2</sup>) do que recebeu da mesma classe (167,272 km<sup>2</sup>), e ainda tendo perdas consideráveis em favor da formação campestre (20,799 km<sup>2</sup>); lavouras temporárias (7,403 km<sup>2</sup>) e soja (15,714 km<sup>2</sup>).

Ressalta-se que a transição entre os anos de 2008 e 2009 foi a única em todo o período do estudo a apresentar aumento na área total de formação natural e também diminuição das áreas agrícolas na BHRF.

Na transição dos anos 2009 para 2010 (figura 19) ocorreram 60 transformações cobertura e uso, correspondendo a 502,44 km<sup>2</sup>, com destaque a parte central do município de Santa Rita do Tocantins, oeste de Figueirópolis e centro-oeste de Dueré.

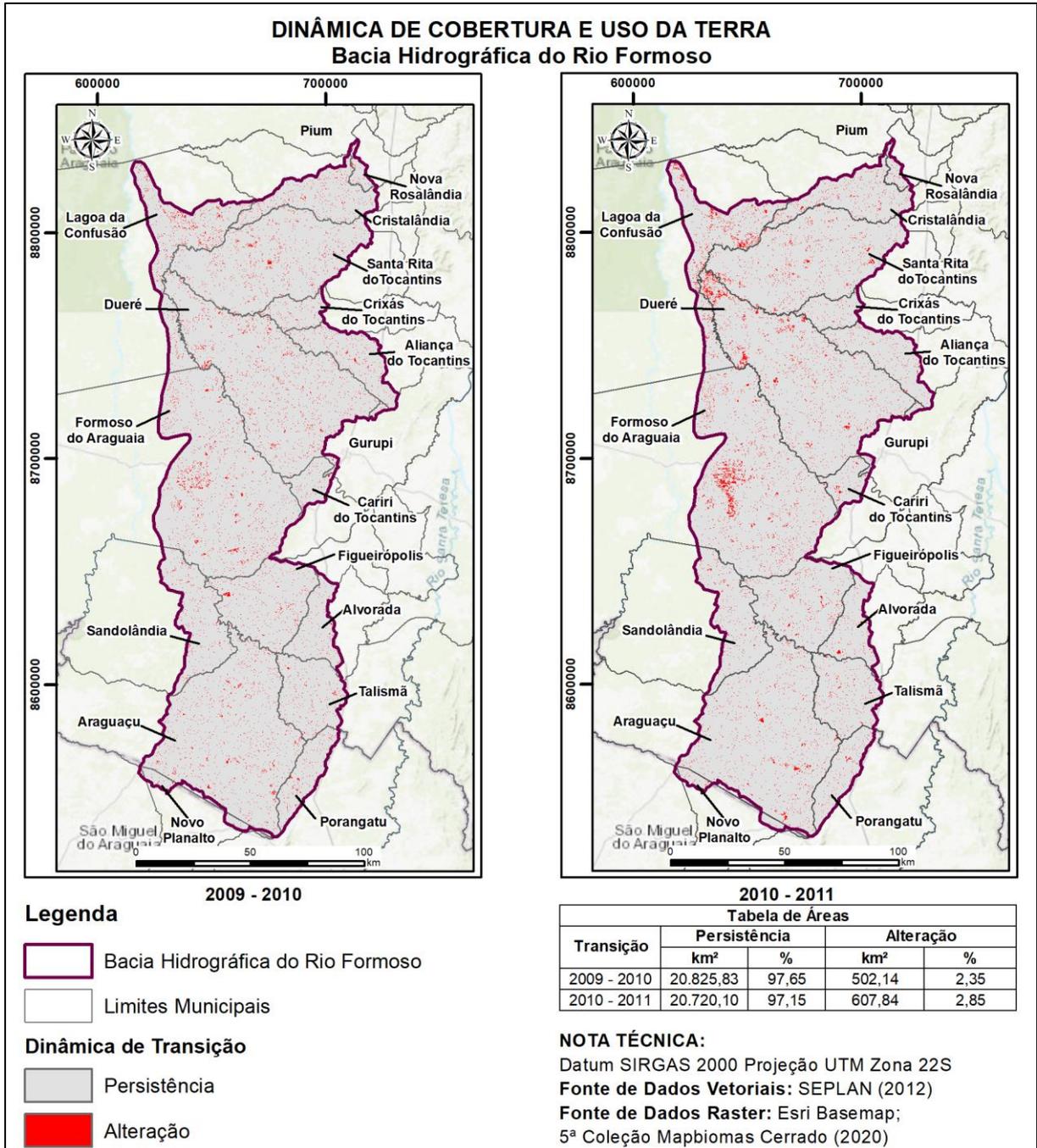
Dentre as áreas naturais, apenas a formação campestre apresentou aumento, com saldo positivo de 7,714 km<sup>2</sup>, em virtude de ganhos sobre áreas de pastagem (19,924 km<sup>2</sup>); formação savânica (4,68 km<sup>2</sup>) e corpos hídricos (2,301 km<sup>2</sup>). A formação florestal apresentou queda de 24,207 km<sup>2</sup>, tendo tido alteração de 35,061 km<sup>2</sup> para formação savânica e 12,269 km<sup>2</sup> para áreas de pastagem. No total, o conjunto de áreas naturais perdeu 69,834 km<sup>2</sup> na transição destes anos.

No que tange as áreas de pastagem, esta recuperou o que foi perdido no ano anterior em número absoluto e apresentou aumento de 63,646 km<sup>2</sup>, com crescimento sobre as áreas naturais: formação campestre (12,269 km<sup>2</sup>), florestal (7,337 km<sup>2</sup>) e savânica (201,902 km<sup>2</sup>); além de 9,311 km<sup>2</sup> e 4,726 km<sup>2</sup> oriundos de lavouras temporárias e soja, respectivamente. As principais mudanças da categoria foram de 127,987 km<sup>2</sup> para formação savânica e 15,513 km<sup>2</sup> para cultivo de soja.

As áreas de lavoura temporária apresentaram diminuição em 7,262 km<sup>2</sup>, tendo tido maior perda para as classes de pastagem, com -9,311 km<sup>2</sup> e soja, -15,513 km<sup>2</sup>, com ganhos menos expressivos vindos dessas mesmas classes. Já o cultivo de soja apresentou aumento de 15,032 km<sup>2</sup>, sobretudo pelo crescimento sobre as áreas de pastagem e culturas temporárias, com

valores já mencionados. Desta forma, o conjunto de áreas agrícolas apresentou aumento de 71,417 km<sup>2</sup>.

Figura 19 - Dinâmica de transição de cobertura e uso da terra para os anos de 2009 - 2010 e 2010 - 2011.



Elaboração gráfica: o autor (2022)

Entre os anos de 2010 e 2011 (figura 19), as alterações de cobertura e uso abrangeram 608,16 km<sup>2</sup>, com 59 interações entre classes. A área do projeto de irrigação Formoso e adjacências e extremo norte de Dueré foram as regiões de destaque.

Neste período, foi o primeiro registro de aumento na área dos corpos hídricos desde o início da análise, com sutil avanço de 0,769 km<sup>2</sup>, ocorrido principalmente sobre as áreas naturais, sendo a formação savânica a mais afetada com 1,844 km<sup>2</sup>, seguida pela campestre, com 1,624 km<sup>2</sup> transformados na classe em questão.

As formações naturais seguem em tendência de queda (-98,268 km<sup>2</sup>), repetindo o comportamento do ano anterior em que apenas a classe de formação campestre apresentou aumento (+7,326 km<sup>2</sup>). Novamente a transformação de áreas de pastagem foi a principal contribuinte da formação campestre, com 17,107 km<sup>2</sup>, apesar de 15,985 km<sup>2</sup> terem feito o caminho inverso.

A formação savânica apresentou diminuição em 45,897 km<sup>2</sup>. Mesmo com a conversão de áreas de formação florestal (64,260 km<sup>2</sup>) para a categoria, a principal responsável pelo decréscimo foi a transformação de 208,693 km<sup>2</sup> em área de pastagem. A formação florestal, por sua vez, apresentou declínio ainda mais significativo, com -59,697 km<sup>2</sup>, com principais perdas à formação savânica, já mencionado, e pastagem (-11,260 km<sup>2</sup>).

Todas as áreas agrícolas apresentaram aumento e juntas totalizaram acréscimo de 99,861 km<sup>2</sup>, com destaque ao cultivo de soja, que sozinho cresceu 47,141 km<sup>2</sup>, mais de três vezes os valores médios de crescimento absoluto nos anos anteriores. Esse crescimento ocorreu sobretudo pela conversão de áreas de culturas temporárias (20,205 km<sup>2</sup>) e pastagem (37,346 km<sup>2</sup>).

A classe temática de pastagem apresentou aumento total de 40,297 km<sup>2</sup>, repetindo o comportamento de crescimento expressivo sobre áreas naturais, com transição oriunda de 208,693 km<sup>2</sup> de formação savânica, 15,985 km<sup>2</sup> de formação campestre e 11,26 km<sup>2</sup> de formação florestal.

As lavouras temporárias cresceram 12,424 km<sup>2</sup>, tendo como principal contribuinte a conversão de áreas de pastagem (27,130 km<sup>2</sup>), enquanto que as próprias áreas de pastagem cresceram 40,297 km<sup>2</sup>, tendo ocorrido o processo sobre áreas naturais, distribuídas em 208,963 km<sup>2</sup> de formação savânica, 15,985 km<sup>2</sup> de formação campestre e 11,260 km<sup>2</sup> de formação florestal.

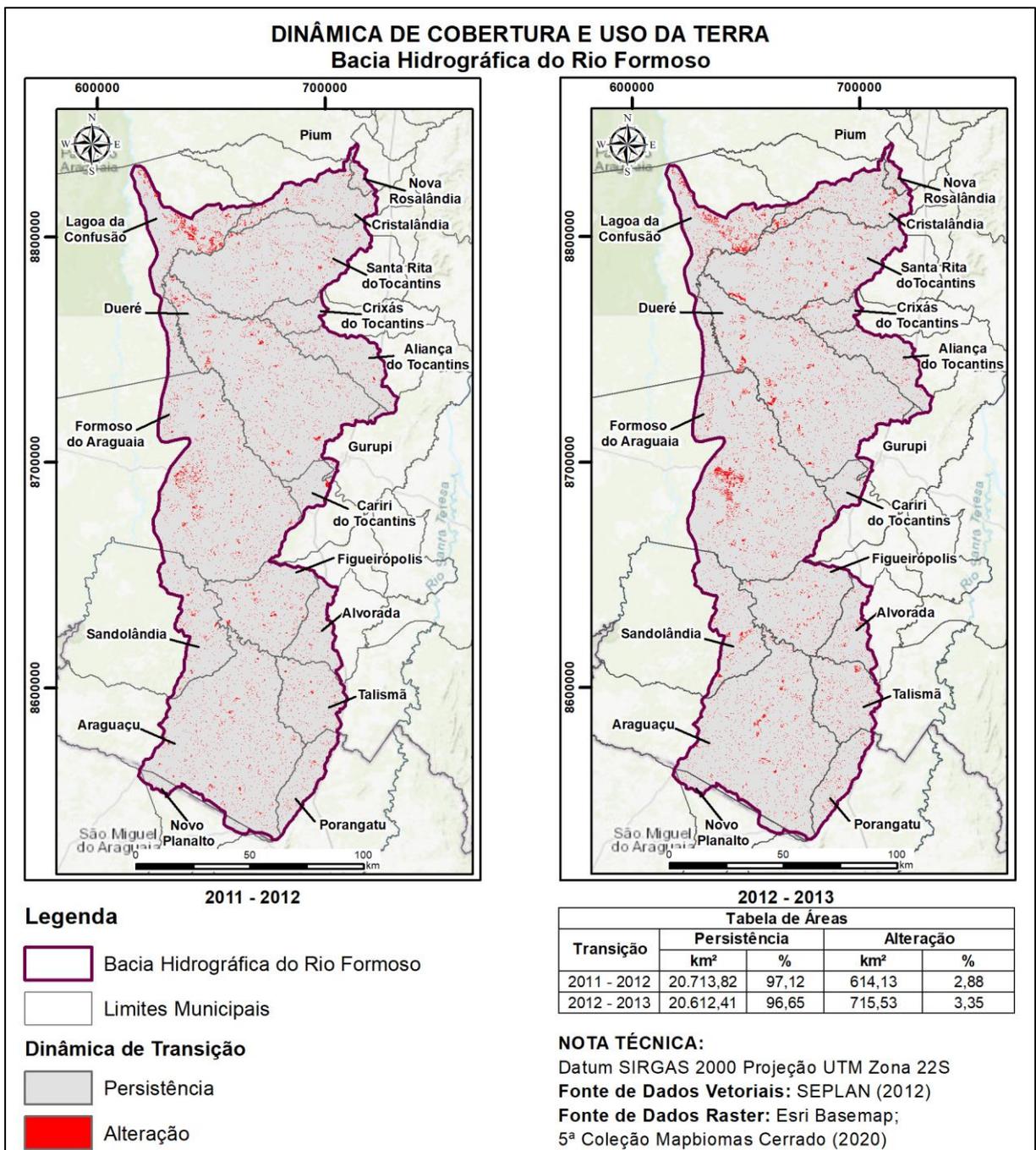
Entre os anos de 2011 e 2012 (figura 20), 614,44 km<sup>2</sup> sofreram alteração, resultado de 61 interações entre classes, com destaque as modificações ocorridas no município de Lagoa da Confusão e no limite da bacia na área centro-norte de Cariri do Tocantins.

As áreas naturais acentuaram tendência de queda, com perda total de 124,6 km<sup>2</sup>, onde todas as classes temáticas apresentaram o mesmo comportamento. A formação campestre teve redução de 9,563 km<sup>2</sup>, mesmo com os ganhos de 22,03 km<sup>2</sup> vindos de pastagem. Dentre as

transformações de perda, destacam-se para formação savânica (-15,627 km<sup>2</sup>) e -6,163 km<sup>2</sup> para lavouras temporárias.

A formação florestal apresentou 14,742 km<sup>2</sup>, com principal transformação ocorrida em favor da formação savânica, com transferência de 25,716 km<sup>2</sup> e pastagem com 7,18 km<sup>2</sup>. Os ganhos também vieram dessas mesmas classes, embora com valores menores, sendo 15,589 km<sup>2</sup> e 3,179 km<sup>2</sup> respectivamente.

Figura 20 - Dinâmica de transição de cobertura e uso da terra para os anos de 2011 - 2012 e 2012 - 2013.



Elaboração gráfica: o autor (2022)

A formação savânica foi a que apresentou maior queda em números absolutos, com -100,295 km<sup>2</sup>. Confirmando a tendência dos anos anteriores, a principal classe beneficiada com a diminuição dessa área natural foi a pastagem, com 238,057 km<sup>2</sup>, seguida pela formação florestal (15,589 km<sup>2</sup>), lavouras temporárias (9,844 km<sup>2</sup>) e áreas não vegetadas (4,402 km<sup>2</sup>).

No conjunto de áreas agrícolas, todas apresentaram aumento, totalizando acréscimo de 119,417 km<sup>2</sup>, e pela primeira vez o crescimento das áreas de cultivo (culturas temporárias e soja), superou o crescimento da classe de pastagem, tendo a primeira e segunda apresentado 66,522 km<sup>2</sup> e 17,267 km<sup>2</sup>, respectivamente, e a última 35,628 km<sup>2</sup>.

A classe de pastagem teve principais ganhos oriundos da formação savânica (238,057 km<sup>2</sup>), formação campestre (13,042 km<sup>2</sup>), florestal (7,18 km<sup>2</sup>) e lavouras temporárias (5,462 km<sup>2</sup>), enquanto as perdas mais significativas foram para formação savânica (-130,886 km<sup>2</sup>) e lavouras temporárias (-55,099 km<sup>2</sup>).

As lavouras temporárias, objeto de destaque entre esses anos, teve incremento além da habitual área de pastagem (55,099 km<sup>2</sup>), das áreas naturais formação campestre (6,163 km<sup>2</sup>) e savânica (9,844 km<sup>2</sup>), além de cultivos de soja (9,834 km<sup>2</sup>), tendo perdido 5,462 km<sup>2</sup> para pastagem e 8,399 km<sup>2</sup> para soja.

Destaca-se que a transição entre os anos de 2011 e 2012 evidenciou mudança no comportamento das áreas agrícolas, uma vez que anteriormente, a maior parte das áreas de cultivo eram abertas sobre áreas utilizadas como pastagem, e desta vez, a abertura em áreas de vegetação nativa foi mais expressiva, sobretudo formações campestre e savânica.

Entre os anos de 2012 e 2013 (figura 20), aconteceram 61 mudanças cobertura e uso, correspondendo a 715,85 km<sup>2</sup>, com destaque as áreas do município de Lagoa da Confusão, Dueré e do Projeto de Irrigação Rio Formoso, além de outras áreas dispersas por toda a bacia.

Nesse período, destacou-se a explosão na conversão de áreas naturais. Ao todo, o conjunto de classes perdeu 227,50 km<sup>2</sup>, tendo como expoente a formação savânica, que sozinha perdeu 214,796 km<sup>2</sup> no balanço geral, sendo o principal responsável o uso de pastagem, que avançou sobre 331,42 km<sup>2</sup> desta formação natural.

A formação campestre e florestal também foram vítimas do avanço das pastagens, com -16,453 km<sup>2</sup> e -9,634 km<sup>2</sup>, respectivamente. A formação campestre teve ainda a conversão de 2,857 km<sup>2</sup> em lavouras temporárias e 8,918 em formação savânica. Já a formação florestal perdeu 19,736 km<sup>2</sup> em favor da formação savânica e 2,159 km<sup>2</sup> para corpos hídricos.

Quanto ao conjunto agrícola, este apresentou aumento de 231,235 km<sup>2</sup>, porém de uma forma peculiar, uma vez que a área de lavouras temporárias diminuiu em 5,69 km<sup>2</sup>, enquanto o

cultivo de soja ampliou sua área em 57,247 km<sup>2</sup> e a pastagem voltou a ser protagonista com 179,678 km<sup>2</sup>.

O comportamento das áreas de culturas temporárias teve acréscimo de 10,623 km<sup>2</sup> de formação savânica, 19,016 km<sup>2</sup> de pastagem e 13,515 km<sup>2</sup> de soja, porém perdeu 49,659 km<sup>2</sup> de área especificamente para o cultivo de soja, com demais perdas quase que insignificantes. O plantio de soja teve, além do mencionado aumento por outras culturas, mais 18,977 km<sup>2</sup> vindos de pastagem.

Na transição de 2013 para 2014 (figura 21), ocorreram 60 transformações, e apesar deste não ter sido o maior número de interações, foi neste período que ocorreu a segunda maior extensão de alteração de cobertura e uso dentre todos os anos estudados, alcançando 840,48 km<sup>2</sup>, tendo como expoente a já tradicional conversão de áreas naturais em agrícolas. As áreas de destaque contínuo de transformação aconteceram em quase todos os municípios.

Os corpos hídricos tiveram incremento de 3,764 km<sup>2</sup>, com crescimento especial sobre a formação campestre (3,113 km<sup>2</sup>) e formação savânica (2,719 km<sup>2</sup>), com poucas perdas de áreas, destacando-se formação savânica (-1,754 km<sup>2</sup>) e florestal (-1,404 km<sup>2</sup>).

As áreas naturais sofreram diminuição ainda mais expressiva do que no ano anterior, com 276,635 km<sup>2</sup>. Deste valor, 237,674 km<sup>2</sup> foi perdido pela formação savânica, que reduziu de modo mais expressivo 324,128 km<sup>2</sup> para pastagem e 19,461 km<sup>2</sup> para culturas temporárias. Os ganhos obtidos referem-se a 6,763 km<sup>2</sup> de formação campestre, 19,91 km<sup>2</sup> oriundos formação florestal e 98,744 km<sup>2</sup> de pastagem, insuficientes para abater o valor perdido.

A formação campestre perdeu 23,657 km<sup>2</sup>, principalmente para pastagem (-18,809 km<sup>2</sup>), lavouras temporárias (-7,485 km<sup>2</sup>) e formação savânica (-6,763 km<sup>2</sup>), com ganhos vindos de pastagem (+10,697 km<sup>2</sup>). A formação florestal, por sua vez, apresentou a menor diminuição dentre as três, com -15,304 km<sup>2</sup>, destacando o ganho obtido de 13,965 km<sup>2</sup> da formação savânica e processo inverso de 19,910 km<sup>2</sup>.

No que tange as áreas agrícolas, estas obtiveram o maior crescimento entre todos os anos, com ganhos de 272,817 km<sup>2</sup>. Destaca-se que nesta transição, foi a primeira vez que tanto as lavouras temporárias, quanto o cultivo específico de soja cresceu mais do que as pastagens.

Com aumento de 167,257 km<sup>2</sup>, as lavouras temporárias tiveram sobretudo áreas advindas de pastagem (176,903 km<sup>2</sup>), e em menor escala formação savânica (19,461 km<sup>2</sup>) e florestal (7,485 km<sup>2</sup>). No que diz respeito a perda de áreas, estas foram bem pequenas quando comparadas ao avanço total, tendo perdido 14,110 km<sup>2</sup> para pastagens e 34,346 km<sup>2</sup> para cultivo de soja.



A respeito dos corpos hídricos, estes apresentaram crescimento de 3,586 km<sup>2</sup>, com principais áreas vindas de formação florestal (2,704 km<sup>2</sup>) e savânica (3,812 km<sup>2</sup>), com perda mais expressiva para essa mesma formação, na ordem de 1,520 km<sup>2</sup>.

As áreas naturais totais seguiram tendência de queda, com valor um pouco menor do que nos anos anteriores, porém ainda bastante elevado, 252,798 km<sup>2</sup>. Apenas a formação campestre apresentou aumento de 3,20 km<sup>2</sup>, resultado da conversão de 17,276 km<sup>2</sup> de área de pastagem e 3,267 km<sup>2</sup> de formação savânica, tendo apresentado perdas de 4,117 km<sup>2</sup> para essa mesma formação e 12,639 km<sup>2</sup> para pastagem.

A formação florestal apresentou diminuição de 21,482 km<sup>2</sup>, com principais perdas para pastagem (-14,706 km<sup>2</sup>), formação savânica (-18,132 km<sup>2</sup>) e corpos hídricos (-3,812 km<sup>2</sup>). Os ganhos foram obtidos de forma mais expressiva apenas da formação savânica (12,993 km<sup>2</sup>) e pastagem (1,140 km<sup>2</sup>).

A formação savânica foi a que teve maior perda de áreas, com -234,517 km<sup>2</sup>. Obteve ganhos da formação florestal (18,132 km<sup>2</sup>) e pastagem (102,886 km<sup>2</sup>), mas apresentou perdas significativas para essa mesma classe, com -333,497 km<sup>2</sup>, 12,993 km<sup>2</sup> para formação florestal e 6,752 km<sup>2</sup> para áreas não vegetadas.

O conjunto das áreas agrícolas apresentou comportamento peculiar, com crescimento total de 236,944 km<sup>2</sup>, com destaque a conversão de áreas para pastagem (+203,632 km<sup>2</sup>) e cultivo de soja (+137,604 km<sup>2</sup>), apesar do decréscimo de 104,292 km<sup>2</sup> de área de lavouras temporárias.

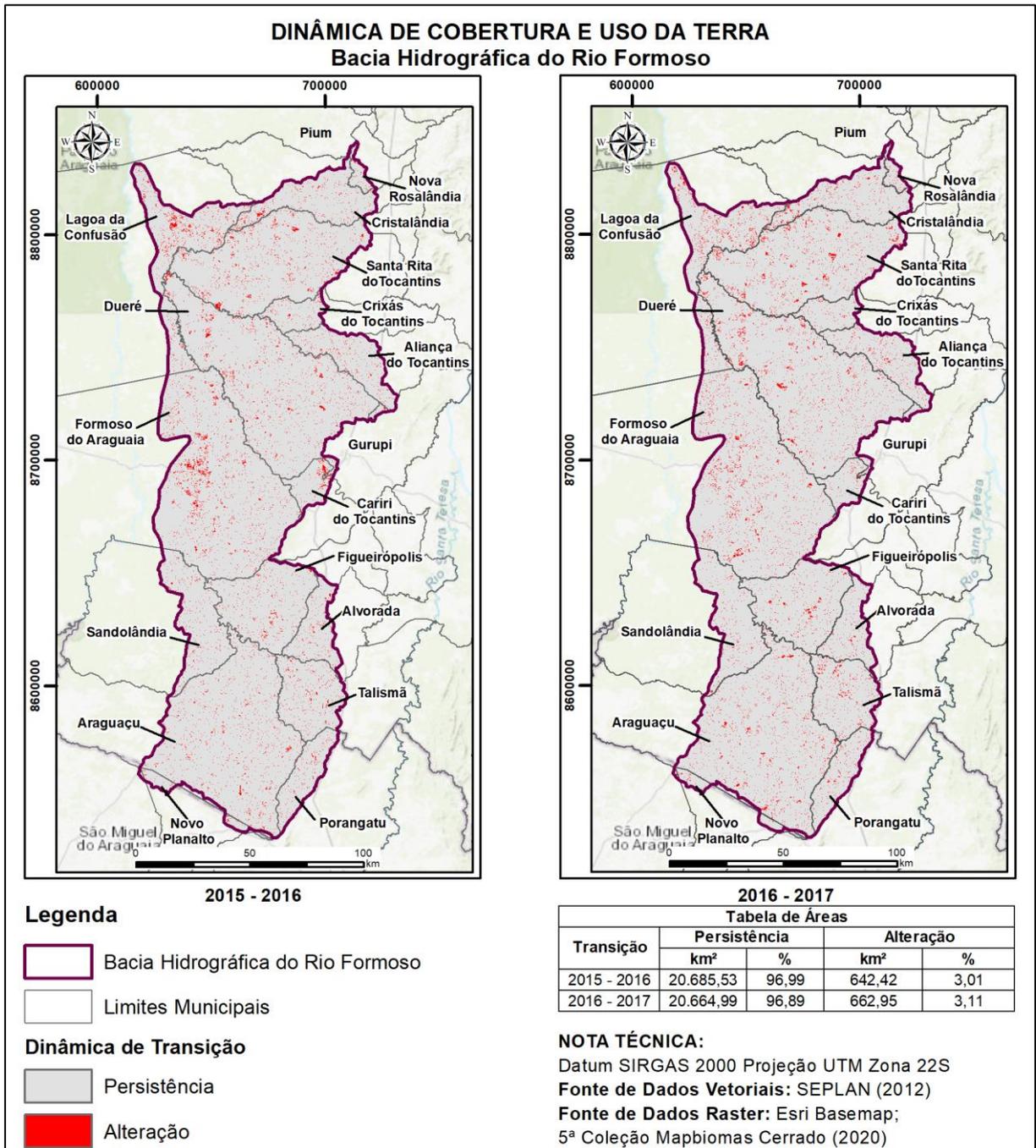
A área de cultivo de soja apresentou crescimento sobretudo pela conversão de áreas de outras culturas temporárias (124,387 km<sup>2</sup>) e pastagem (34,316 km<sup>2</sup>), tendo perdido apenas 16,655 km<sup>2</sup> e 5,223 km<sup>2</sup> para essas mesmas classes, respectivamente. Quanto a classe de lavouras temporárias, estas perderam ainda, para além do já mencionado cultivo de soja, -2,499 km<sup>2</sup> para pastagem, com demais perdas pequenas em relação a estas.

As pastagens, por sua vez, mantiveram tendência de alta sobre áreas naturais, tendo obtido 333,497 km<sup>2</sup> de formação savânica, 14,709 km<sup>2</sup> de formação florestal e 12,639 km<sup>2</sup> de formação campestre.

Entre os anos de 2015 e 2016 (figura 22), manteve-se a tendência de crescimento de áreas agrícolas e redução de áreas naturais, porém em ambos os casos a magnitude de alteração foi menor em relação a transição do período anterior (2014-2015), com 195,48 km<sup>2</sup> para o conjunto agrícola e 189,064 km<sup>2</sup> para o conjunto natural. Ao todo, foram identificadas 73 alterações de cobertura e uso, correspondendo a uma área de 642,42 km<sup>2</sup>.

A infraestrutura urbana seguiu com sutil crescimento de 0,088 km<sup>2</sup> e habitualmente sem interações significativas com as demais classes. As áreas não vegetadas tiveram redução de -1,158 km<sup>2</sup>, sobretudo em favor da classe de pastagem (8,717 km<sup>2</sup>), apesar dos ganhos sobre esta mesma classe (-5,242 km<sup>2</sup>) e formação savânica (2,305 km<sup>2</sup>).

Figura 22 - Dinâmica de transição de cobertura e uso da terra para os anos de 2015 - 2016 e 2016 - 2017.



Elaboração gráfica: o autor (2022)

A classe temática de corpos hídricos apresentou diminuição em 5,345 km<sup>2</sup>, não tendo obtido nenhum ganho significativo de demais classes (todos inferiores a 0,5 km<sup>2</sup>) e tendo perdido 4,153 km<sup>2</sup> para formação savânica, com perdas menores para outros usos.

No que tange as áreas naturais, como já mencionado, estas apresentaram redução em sua área total, tendo todas as formações perdido espaço em relação ao ano anterior. A formação campestre reduziu em 6,819 km<sup>2</sup> sua área total, com principais transições para pastagem (-15,354 km<sup>2</sup>) e formação savânica (-5,735 km<sup>2</sup>). Os ganhos para a classe vieram em menor escala das mesmas formações para as quais a formação campestre perdeu espaço, com 12,662 km<sup>2</sup> e 2,56 km<sup>2</sup>, respectivamente.

A formação florestal teve redução de 16,553 km<sup>2</sup>, tendo como expoente a transição de 20,942 km<sup>2</sup> para formação savânica e 11,677 km<sup>2</sup> para pastagem, enquanto que seu principal ganho veio das áreas de savana, com 14,592 km<sup>2</sup>. Esta classe, por sua vez, apresentou redução de 165,692 km<sup>2</sup>, mantendo o comportamento habitual de principal perda de área em favor de pastagem (-268,289 km<sup>2</sup>).

Quanto as lavouras temporárias, estas seguiram tendência de queda, com 34,205 km<sup>2</sup>, sobretudo pela forte conversão de áreas para plantio de soja (-67,205 km<sup>2</sup>), enquanto que os ganhos dessa classe ficaram por conta da transição de 15,558 km<sup>2</sup> de pastagem e 17,666 km<sup>2</sup> de soja.

A área destinada ao cultivo de soja teve aumento de 100,458 km<sup>2</sup>, com destaque a conversão de áreas de lavouras temporárias, já citado, e também áreas de pastagem (46,092 km<sup>2</sup>). Nesse período de análise, observou-se crescimento da área também sobre formação savânica, com 6,619 km<sup>2</sup>. Contudo, a classe de pastagens, que apresentou crescimento de 129,226 km<sup>2</sup> continuou sendo a principal causa da diminuição de áreas naturais, tendo crescido sobre 15,354 km<sup>2</sup> de formação campestre, 11,677 km<sup>2</sup> de formação florestal e 268,289 km<sup>2</sup> de formação savânica.

Com 662,95 km<sup>2</sup> alterados, a transição dos anos 2016 para 2017 apresentou 67 interações, marcada pela retomada expressiva de crescimento de áreas agrícolas e também da intensificação da diminuição de áreas naturais, sobretudo formação savânica.

Cabe destacar que este foi o período que marca a retomada de crescimento de áreas florestais, que apesar de modesto, foi a única dentre as componentes do conjunto a apresentar crescimento (+2,15 km<sup>2</sup>), em face da perda de 15,469 km<sup>2</sup> de formação campestre e -242,915 km<sup>2</sup> de formação savânica.

A formação florestal obteve ganhos e perdas mais significativas nas classes de formação savânica (+26,915 km<sup>2</sup> e -14,422 km<sup>2</sup>) e pastagem (+2,168 km<sup>2</sup> e -13,043 km<sup>2</sup>), que somado ao modesto avanço sobre corpos hídricos (+1,882 km<sup>2</sup>), garantiu o crescimento da classe.

A formação campestre, por sua vez, perdeu 21,628 km<sup>2</sup> em favor da pastagem, principal transformação ocorrida na classe, tendo obtido no processo inverso 7,637 km<sup>2</sup>. O processo ocorreu de forma semelhante, porém em maior escala na classe de formação savânica, que perdeu 303,279 km<sup>2</sup> para área de pastagem e obteve 82,409 km<sup>2</sup>.

No conjunto de áreas agrícolas observou-se a retomada expressiva de crescimento, com 251,611 km<sup>2</sup>, com aumento em todas as classes, destaque para pastagem com incremento de 196,603 km<sup>2</sup>, fruto, assim como em anos anteriores, do crescimento sobre áreas naturais (formação savânica 303,279 km<sup>2</sup>; florestal 13,043 km<sup>2</sup> e campestre 21,628 km<sup>2</sup>).

As áreas de lavoura temporária apresentaram aumento após consecutivas baixas desde a transição 2014-2015, com incremento de 13,169 km<sup>2</sup>. O resultado foi obtido graças a conversão de 39,017 km<sup>2</sup> de cultivo de soja e 5,164 km<sup>2</sup> de pastagem.

Apesar da conversão de áreas de soja citada anteriormente, esta classe apresentou aumento de 41,839 km<sup>2</sup>, tendo como principais contribuintes a outras lavouras temporárias (32,614 km<sup>2</sup>) e pastagem (56,702 km<sup>2</sup>). Já a classe de pastagem apresentou aumento de 196,603 km<sup>2</sup>, agregando 337,95 km<sup>2</sup> de áreas naturais, distribuídas em 21,628 km<sup>2</sup> de formação campestre, 13,043 de formação florestal e 303,279 km<sup>2</sup> de formação savânica.

Entre os anos de 2017 e 2018 (figura 23), a área modificada apresentou aumento, atingindo 841,73 km<sup>2</sup>, maior valor encontrado durante todo o estudo, tendo ocorrido 63 alterações de cobertura e uso de terra.

As áreas naturais tiveram perda total de -233,568 km<sup>2</sup>, com -19,255 km<sup>2</sup> de formação campestre e 231,750 km<sup>2</sup> de formação savânica. Mais uma vez a única classe do conjunto de áreas naturais a apresentar aumento foi a formação florestal, e desta vez com ganhos mais expressivos, cerca de 17,437 km<sup>2</sup>, especialmente pela conversão de áreas de formação savânica.

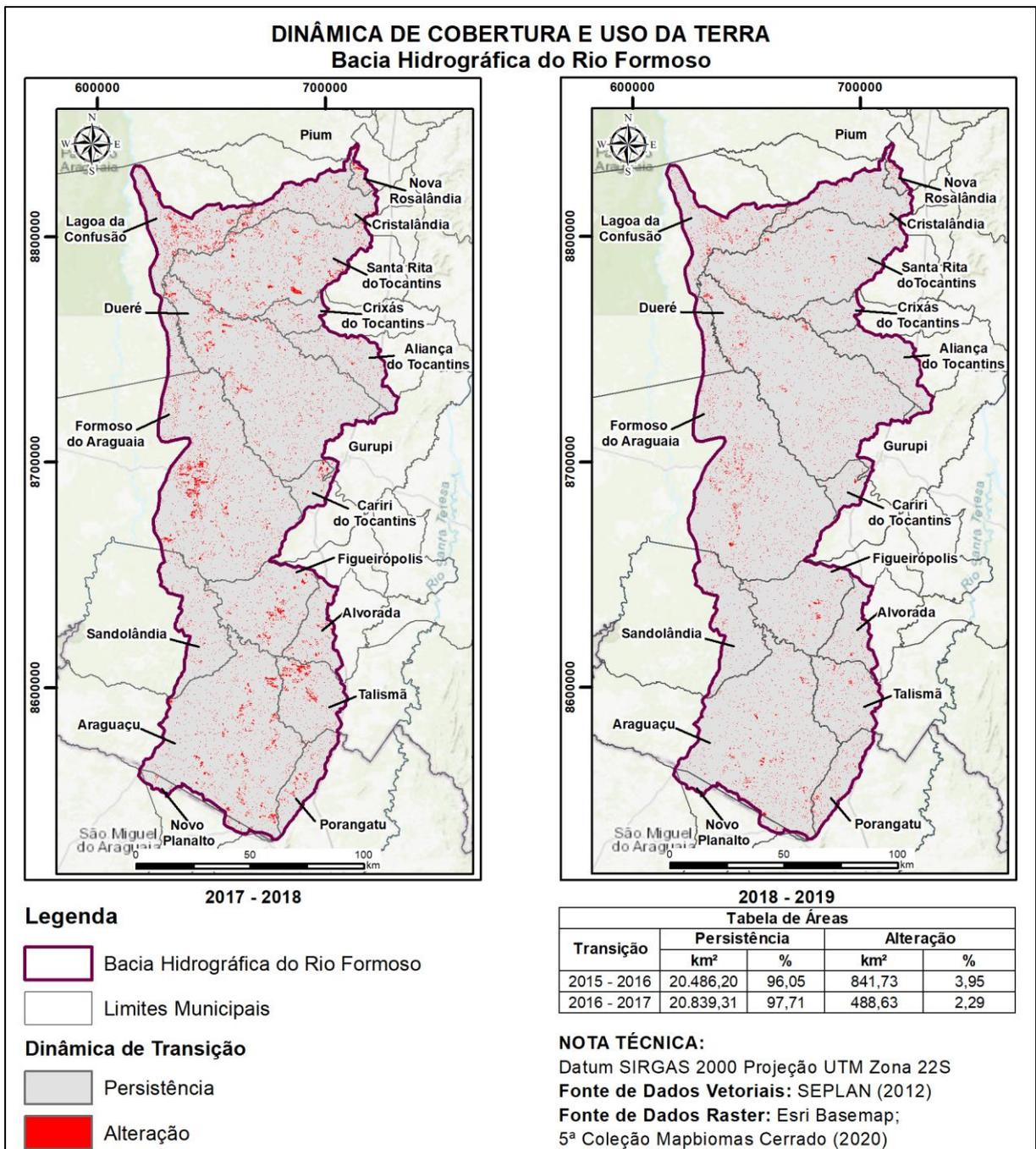
A formação campestre perdeu cerca de 25,626 km<sup>2</sup> para áreas de pastagem, enquanto que no processo inverso obteve 11,135 km<sup>2</sup>, com ganhos menos expressivos também vindos da formação savânica, com 3,594 km<sup>2</sup>. A formação savânica manteve o comportamento e teve como principal alçoz as áreas de pastagem que obtiveram 281,717 km<sup>2</sup>.

Sobre o conjunto de áreas agrícolas, o crescimento total foi de 225,243 km<sup>2</sup>, com destaque as lavouras temporárias, com 149,969 km<sup>2</sup> e cultivo de soja com 52,911 km<sup>2</sup>. As pastagens também obtiveram aumento, porém mais modesto com 22,362 km<sup>2</sup>, apesar do crescimento expressivo sobre áreas naturais, a conversão de 87,160 km<sup>2</sup> para culturas temporárias e 119,6 km<sup>2</sup> para cultivo de soja diminuiu a presença total.

Por fim, a transição de 2018 a 2019 (figura 23) apresentou modificação em 488,63 km<sup>2</sup>, sendo este o menor valor de alteração de cobertura e uso do solo em todos os anos de estudo, apresentando 64 interações entre classes.

O conjunto de áreas naturais continuou tendência de redução, com 79,224 km<sup>2</sup>, valor inferior as quedas obtidas nos anos anteriores, mas ainda preocupante. A formação florestal seguiu tendência de alta progressiva com 35,904 km<sup>2</sup>, com contribuição de 55,320 km<sup>2</sup> vindos da formação savânica.

Figura 23 - Dinâmica de transição de cobertura e uso da terra para os anos de 2017 - 2018 e 2018 - 2019.

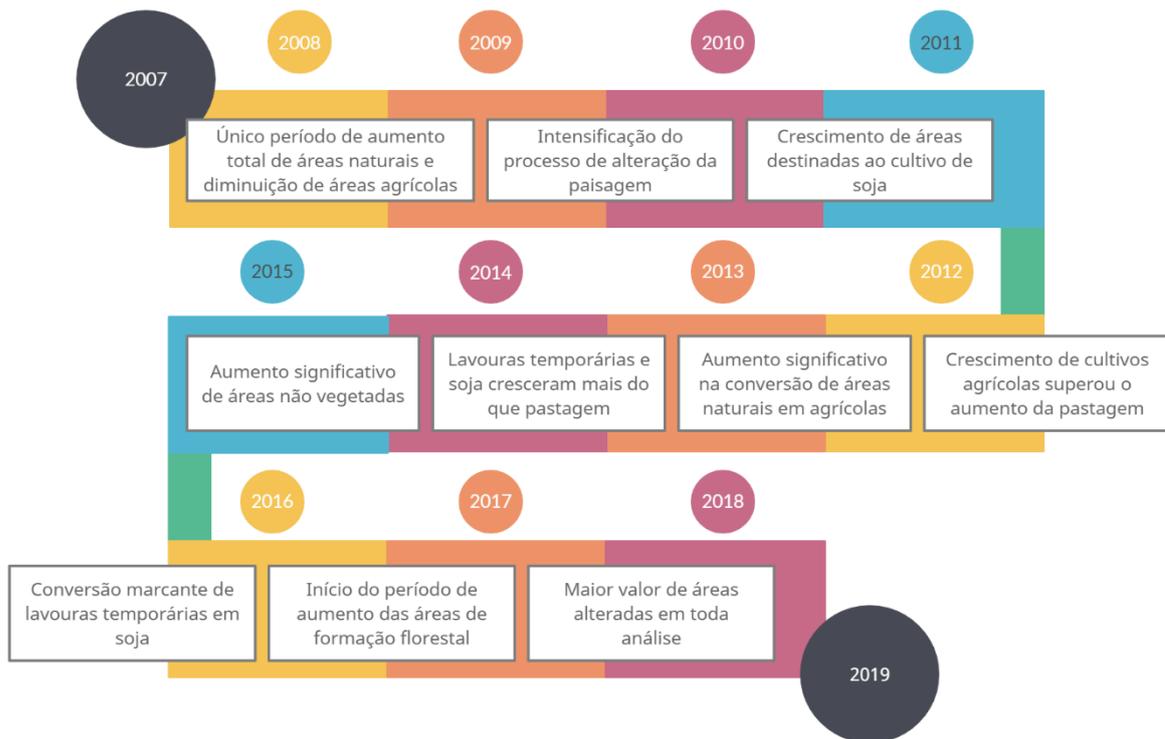


A formação campestre, por sua vez, também apresentou aumento, porém mais modesto, na ordem de 12,118 km<sup>2</sup>, com principais contribuições da formação savânica (13,138 km<sup>2</sup>) e pastagem (12,482 km<sup>2</sup>). A formação savânica manteve tendência de queda expressiva, com -127,246 km<sup>2</sup>.

O conjunto de áreas agrícolas apresentou aumento menor em relação aos anos anteriores, com 85,34 km<sup>2</sup>, tendo como expoente o aumento das áreas de soja, 105,471 km<sup>2</sup>, manutenção das áreas de pastagem, com aumento sutil de 1,715 km<sup>2</sup> e redução em 21,846 km<sup>2</sup> de lavouras temporárias.

Após a descrição do comportamento ano a ano do uso e cobertura da terra na BHRF, podem ser realizadas algumas inferências acerca do fenômeno analisado, sobretudo a relação entre áreas naturais e agrícolas, principais responsáveis pela mudança da paisagem local, com compilação dos principais fatos na ilustração da Figura 24.

Figura 24 - Linha do tempo com principais marcos na transição de cobertura e uso na Bacia do Rio Formoso.



Fonte: o autor, 2021.

Com exceção da transição ocorrida entre 2008 e 2009, em todos os demais anos as áreas naturais apresentaram diminuição e as áreas agrícolas apresentaram aumento, com acréscimos significativos desde o ano de 2009, até a redução mais expressiva na transição de 2018-2019.

Não obstante, cabe salientar que apesar da última análise revelar a diminuição do ritmo de conversão de áreas naturais em agrícolas, este processo continua ocorrendo e utilizando áreas significativas. Os valores finais de conversão não são ainda maiores devido parte das áreas agrícolas possivelmente entrarem em processo de recuperação ambiental<sup>2</sup>, de modo voluntário (regeneração natural) ou não (recuperação de áreas degradadas), voltando a condição de áreas naturais identificadas pelo MAPBIOMAS.

No caso da BHRF, o processo de conversão de áreas agrícolas em áreas naturais ocorreu principalmente sobre a classe de pastagem. Como explicação para o fato, especula-se a possível mudança de esforços em propriedades que antes tinham como foco a pecuária e atualmente apresentam expansão na agricultura, que não utiliza todas as áreas já abertas; falta de manutenção da área por parte do proprietário, no caso de pastagens degradadas; o acordo via Termo de Ajuste de Conduta (TAC) para validação das informações autodeclaratórias prestadas no CAR, devido a imposição por lei da existência de áreas de preservação dentro da propriedade, e outros.

A título de exemplificação, analisando a matriz de transição dos anos 2013-2014, observa-se, o decréscimo de áreas naturais na ordem de 276,635 km<sup>2</sup>, enquanto as áreas agrícolas cresceram 272,817 km<sup>2</sup>. Entretanto, o avanço de áreas agrícolas (pastagem, lavouras e soja) sobre áreas naturais (formações campestre, florestal e savânica) foi na ordem de 384,969 km<sup>2</sup> e o processo inverso 113,067 km<sup>2</sup>.

Sobre o processo de interação interna do conjunto de classes naturais, as já mencionadas formação campestre, florestal e savânica, observa-se a prevalência entre 2007 a 2011 e de 2013 a 2016 da conversão de formações florestais em formação savânica. Ainda que todas sejam áreas naturais, é fato de destaque o processo de savanização de áreas florestais como mecanismo de adaptação ambiental as intervenções antrópicas.

Considerando a variedade de fitofisionomias presentes no bioma cerrado, que demonstra grande diversidade de ambientes e alta resposta do porte da vegetação a presença de água, seja em corpos hídricos superficiais ou umidade do solo (RIBEIRO; WALTER, 2008), o aumento de áreas savânicas de menor porte e densidade serve como alerta para possíveis usos desregulados de recursos hídricos, obrigando ao ambiente entrar em processo de adaptação para

---

<sup>2</sup> Recuperação Ambiental: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original (Lei nº 9.985/2000, art. 2º inc. XIII)

atingir nova condição de equilíbrio, onde espécies mais resistentes a deficiência hídrica têm prevalência.

Diversos trabalhos acerca de espécies nativas do cerrado evidenciam este comportamento no campo do desempenho ecofisiológico das espécies, levando em consideração o fator disponibilidade hídrica.

Em pesquisa desenvolvida em uma área de transição cerrado-amazônia, Jaconski (2019) avaliou 28 espécies dominantes de quatro fitofisionomias: cerrado rupestre (CER), cerrado típico (CET), cerradão (CEA) e floresta estacional semidecidual (FES) utilizando um amplo conjunto de atributos anatômicos e funcionais e demonstrou alta variabilidade de atributos hidráulicos em cada fitofisionomia, apresentando melhor regulação da perda de água as espécies do cerradão e cerrado típico, em detrimento da floresta estacional semidecidual.

Realizando estudo entre espécies congêneres do cerrado em sistema semi-controlado submetidos a deficiência hídrica, Veiga (2011) evidenciou o comportamento de maiores eficiências de trocas gasosas e fotoquímicas encontradas em *Styrax ferrugineus*, espécie adaptada ao cerrado sensu stricto, que é um tipo de vegetação savânica, em comparação a *Styrax pohlii*, espécie presentes em matas. O resultado, segundo o autor, auxilia na explicação das distintas distribuições geográficas de espécies congêneras no cerrado.

Salienta-se, entretanto, que desde o ano de 2017 até o fim do período de análise, 2019, as áreas de formação florestal apresentaram aumento. Caso em anos posteriores mantenha-se a tendência, poderá ser observado se as áreas de transição correspondem aquelas priorizadas para preservação por força de legislação federal, sobretudo próxima a corpos hídricos por ser área de interesse, a exemplo das APPs.

Na interação interna do conjunto de classes agrícolas (lavouras temporárias, pastagem e soja), é nítido o papel da pastagem como transformadora do território, visto que na maior parte dos casos as áreas naturais são convertidas nesta classe para só então, em anos posteriores, serem convertidas em lavouras temporárias ou cultivo de soja.

Apenas na transição de 2009-2010, a transferência foi maior de áreas de lavoura temporária para pastagem, processo este que não ocorreu em nenhum dos anos para as áreas de soja em favor da pastagem. Os cultivos de soja, inclusive, nunca apresentaram diminuição de área total, sempre com tendência de alta, diferente das outras duas classes agrícolas, como demonstrado nas descrições anteriores.

Sendo a que ocupava a menor parcela dentre as áreas antropizadas agrícolas, as áreas de cultivo de soja superaram as demais lavouras temporárias em 2010, e desde então apresenta aumento significativo ano a ano, ocorrido pela conversão de espaços das suas companheiras de

conjunto. É interessante ressaltar esse comportamento, visto que apenas na transição 2012-2013 e 2015-2016, houve crescimento um pouco mais expressivo sobre áreas naturais, sobretudo na formação savânica, com 3,766 km<sup>2</sup> e 6,619 km<sup>2</sup>, respectivamente, mas que quando comparado ao crescimento sobre as áreas já antropizadas, este diminui sua relevância do ponto de vista de área e percentual de participação na bacia, mas não do ponto de vista de mudanças ambientais.

Por sua vez, as lavouras temporárias também apresentaram comportamento similar de crescimento sobre áreas de pastagem, porém, a análise evidenciou que entre 2011 e 2014, o crescimento também ocorreu de forma significativa em áreas naturais, alcançando a conversão de 28,756 km<sup>2</sup> na transição de 2013-2014.

Os dados demonstraram que o processo de transição de cobertura e uso da terra na BHRF pode ser agrupado em dois períodos distintos, sendo o primeiro de 2007 a 2013 e o segundo de 2013 a 2018. A transição entre 2018 e 2019 apresentou peculiaridades que não permitiram que esta fosse contemplada da melhor forma em nenhum dos grupos, mesmo que o número de divisões fosse aumentado.

Esta transição em especial apresenta os menores valores registrado e marca a retomada expressiva do crescimento das áreas de soja após o evento hidrológico extremo, e sua análise ponderada com os anos posteriores indicará se o comportamento foi de forma isolada por conta do alto valor de transição obtido no ano anterior ou a dinâmica de cobertura e uso tenderá a se estabilizar, com a consolidação e uso intensivo das áreas já abertas.

A hierarquização das classes de acordo sua participação na conversão de áreas, demonstrada na figura 25, seja de perdas ou ganhos, demonstrou relativa estabilidade, principalmente no aspecto das classes mais propensas a perderem áreas. Nesse quesito, a única alteração ocorrida nos dois períodos foi a inversão de posições entre corpos hídricos e áreas não vegetadas, alternando a 7<sup>a</sup> a 8<sup>a</sup> posição, respectivamente. Por se tratar de áreas com pouca expressividade na bacia e baixa participação no total de áreas alteradas, essas variáveis juntamente com infraestrutura urbana são de pouca relevância no sistema.

A respeito da conversão de ganhos, esta apresentou um número maior de mudanças, ocorridas sobretudo em classes de maior relevância em níveis participação quantitativa e relativa. Tanto lavouras temporárias e soja, quanto formação campestre e formação florestal inverteram de ordem do primeiro para o segundo período, ocupando a 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup>; 5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> posição, respectivamente.

Em face disso, pode-se inferir o papel de cada classe dentro do contexto da BHRF. A classe de uso de pastagem e a cobertura de formação savânica são as forças destaques de

alteração de paisagem, influenciando e sendo influenciadas pelas demais devido a intensa troca de áreas que abrange toda a bacia.

Figura 25 - Hierarquização das classes de acordo conversão de áreas (perdas e ganhos) nos períodos de 207 a 2013 e 2013 a 2018.



Elaboração: o autor, 2022.

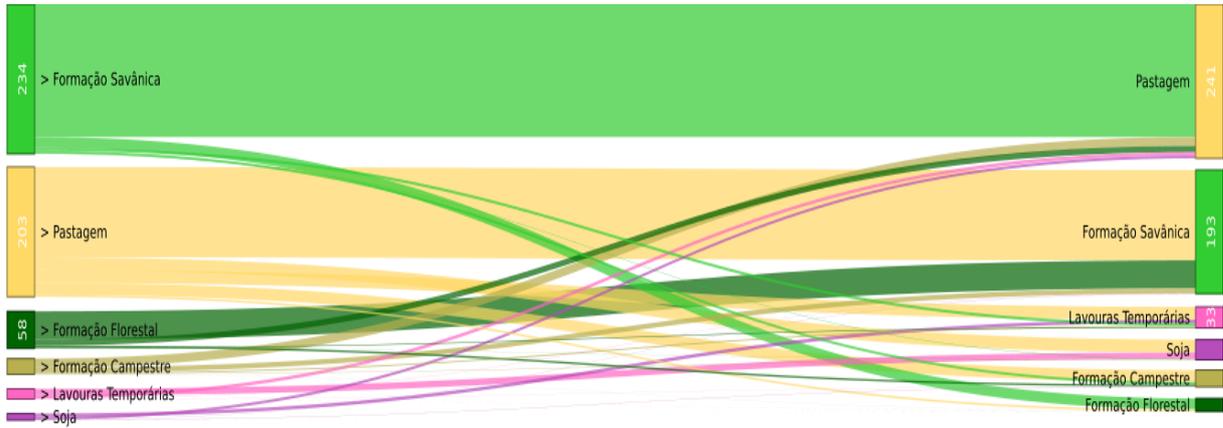
Em todo o período as classes de formação florestal e campestre são passivas, sempre cedendo mais áreas do que recebendo, enquanto que as lavouras temporárias e cultivo de soja desempenham papel ativo, pois, proporcionalmente, recebem muito mais áreas do que são convertidas. A baixa interação das três últimas classes acaba por isolá-las, tendo pouca interferência no sistema.

Para melhor visualização e análise da dinâmica nos dois períodos, as ilustrações das figuras 26 e 27, foram elaboradas considerando apenas as áreas onde sofreram alteração, partindo de classes que possuíssem no mínimo 1% de contribuição, o que resultou na exclusão das classes de área não vegetada, corpos hídricos e infraestrutura urbana, evitando a poluição visual que dificultaria o entendimento. Por se tratar de áreas muito extensas, a participação da manutenção foi descartada.

Das principais deduções a serem listadas, tem-se que tende a cair as taxas de transformação de áreas florestais em savânica e pastagem para savana; tende a aumentar a conversão de pastagem em lavouras temporárias e cultivo de soja e lavouras temporárias para soja; e tende a um processo de estabilidade as demais interações.

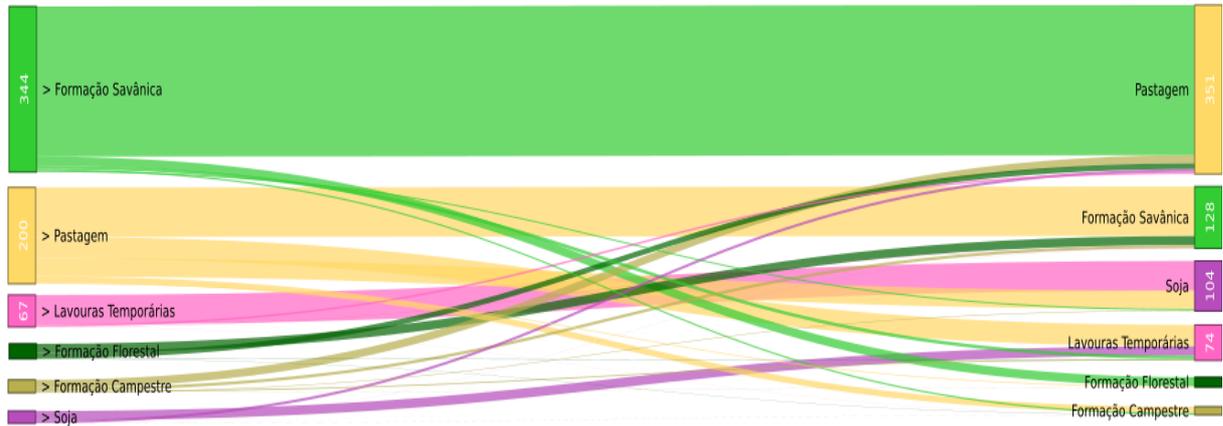
Menciona-se que quando considerado todo quantitativo, as áreas para agricultura têm pouca influência direta na conversão de áreas naturais, por crescerem sobretudo em áreas de pastagem e no primeiro momento, áreas naturais eram convertidas em “pastagem > lavouras temporárias > soja” e que no segundo momento, a conversão direta “pastagem > soja” tornou-se mais evidente, o que explica a prevalência dessa cultura na região.

Figura 26 - Proporção das principais dinâmicas de transição no o período de 2007 a 2013



Elaboração: o autor, 2022

Figura 27 - Proporção das principais dinâmicas de transição no o período de 2013 a 2018



Elaboração: o autor, 2022

## **8. CONSIDERAÇÕES SOBRE USO DA TERRA E CONFLITOS DE USO DA ÁGUA NO CONTEXTO DA BHRF**

A relação do uso da terra e recursos hídricos é complexa, onde o primeiro tem influência sobre o segundo em termos de quantidade e qualidade dos recursos (VANZELA et al., 2010; MEDEIROS et al., 2019; SOUSA et al., 2021), sendo sua importância reconhecida na PNRH, que estabeleceu em suas diretrizes a articulação de gestão de recursos hídricos e uso do solo (BRASIL, 1997).

Na BHRF, a complexidade do sistema hídrico em questão foi objeto de estudo de Nunes et al. (2021) quando avaliaram a influência e dependência de determinadas variáveis internas (07) e externas (03) à bacia, dentre elas, a cobertura e uso do solo. Tanto na análise direta, quanto na indireta, a variável em questão juntamente com as commodities agrícolas, foram as únicas classificadas como motrizes, ou seja, aquelas que exercem mais influência do que são influenciadas pelas demais.

Como visto no tópico anterior, a diversidade de classes de cobertura e uso da terra com diferentes associações no processo de transição demonstraram as classes agrícolas como importantes vetores de transformação, tendo suas áreas ampliadas ano após ano. Destacando as áreas de agricultura e considerando as particularidades dos sistemas produtivos empregados na região, a associação uso da terra e possíveis conflitos pelo uso da água é interessante visto o emprego frequente de plantios irrigados, atividade caracterizada como de uso consuntivo.

O uso da irrigação no contexto da BHRF remonta do final da década de 1970, quando foi implantado o Projeto de Irrigação Rio Formoso, com o objetivo principal o cultivo de arroz irrigado por inundação no período chuvoso e soja por sub-irrigação para produção de sementes no período da seca (entressafra) (SILVA, 2015).

Apesar disso, a bacia do Rio Formoso enfrenta episódios de escassez hídrica com ocorrência sucessiva na última década, ainda sem causa específica definida (IAC/UFT, 2018). No ano de 2016 a situação emergencial fez o órgão gestor de recursos hídricos no Estado, o Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), suspender as outorgas para captação pelo período de 04 meses em todas as sub-bacias do Rio Formoso.

O evento extremo ganhou destaque nos veículos de mídia a nível nacional. O blog Natureza e Conservação noticiou em 28 de julho de 2016 “*Rio Formoso e Rio Urubu têm medida emergencial para recuperação de vazão*”. O Portal Pesca Amadora publicou em 02 de setembro de 2016: “*Botos do rio Formoso sofrem com a seca intensa na Bacia do Araguaia-Tocantins*”; o G1 Tocantins em 02 de agosto de 2016 “*MP pede a suspensão da retirada de*

*água dos rios Formoso e Urubu*”, citando apenas alguns dentre diversos outros portais de notícias em diferentes plataformas.

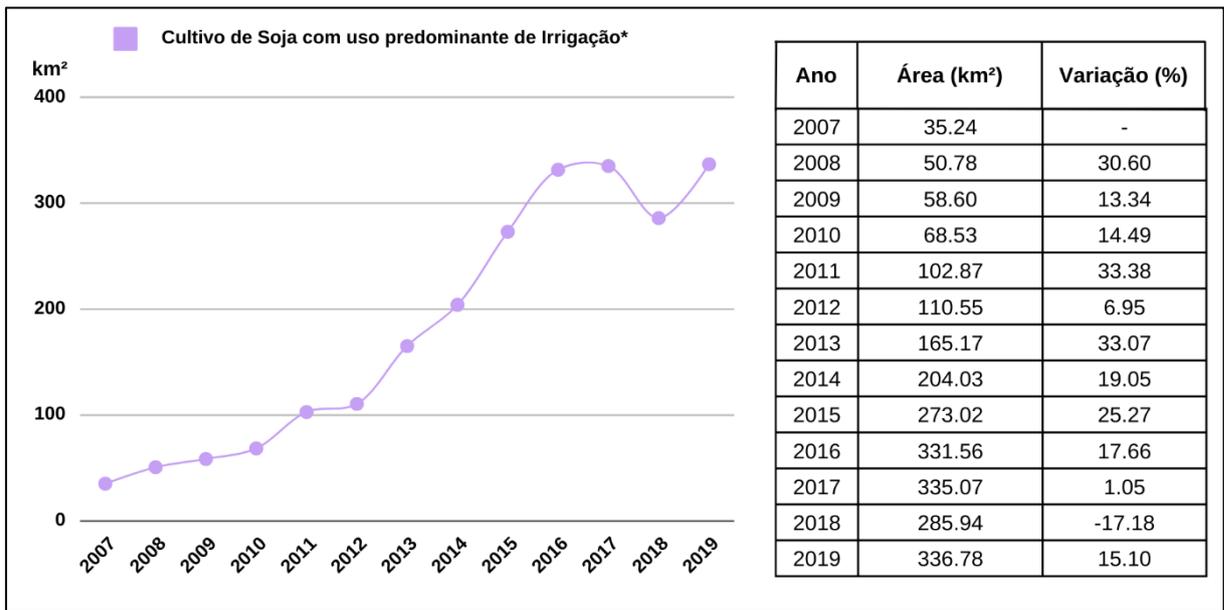
Tendo contextualizado a situação da bacia os esforços foram direcionados para discussão do papel do cultivo de soja irrigada na BHRF, por figurar como aquele que apresenta maior crescimento proporcional em todo o período de estudo, e como já mencionado, é maior do que todas as demais culturas temporárias juntas. Soma-se a isso peculiaridade do Programa Estadual de Controle da Ferrugem Asiática da Soja (TOCANTINS, 2021), que excepcionalmente permite o plantio para produção de sementes em planícies tropicais sob sistema de sub-irrigação, garantindo o cultivo o ano inteiro e consequentemente demandando maior quantidade de recursos, sobretudo na época da seca.

Elaborando o recorte da bacia com base na interseção dos municípios de Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia, Dueré e Cristalândia, tem-se as áreas onde estão dispostos mais de 95% das áreas de cultivo irrigado de soja e que enquadram-se na exceção disposta em normativa, e que curiosamente, teve comportamento diferente na evolução das áreas do que foi apresentado na totalidade da classe, incluindo soja de sequeiro representado na figura 28.

As taxas de crescimento nesse tipo de sistema foram positivas em quase todos os momentos, com exceção de 2018, mas em percentual menor do que quando comparada a totalidade da classe demonstrada em tópicos anteriores. A análise do gráfico permite a identificação de três anos-chave, sendo eles 2016, 2017 e 2018.

Com relação direta ao evento hidrológico extremo e que atingiu as safras de 2016-2017-2018 de forma mais contundente, 2016 marca o impacto inicial no sistema ao enfrentar condições adversas severas. A taxa de crescimento que passava de 15% ao ano cai para apenas 1%. O valor obtido em 2017 mostra que a resiliência do sistema foi posta à prova e que os proprietários optaram por minimamente manterem as áreas do ano anterior, com sutil aumento.

Figura 28 - Representação gráfica das áreas de Cultivo de Soja Irrigada na BHRF entre 2007 e 2019.



Elaboração: o autor, 2022

O contexto de 2017, entretanto, causou um marcante ponto de inflexão, pois, as decisões tomadas naquele ano fizeram com que pela primeira vez as áreas de cultivo de soja apresentassem diminuição e o fato ocorreu apenas na condição apresentada de plantio irrigado em 2018.

A redução das áreas de plantio teve como provável explicação a suspensão e revisão das outorgas para uso da irrigação, além do provável receio por parte dos proprietários em fazerem investimentos no cenário de incerteza da disponibilidade de recursos necessários e de autorização de uso destes para esta finalidade, com base nas prioridades de uso estabelecidas em legislação federal e estadual no cenário de escassez.

A diminuição das áreas poderia ter influenciado um novo cenário na BHRF, com tendência a manutenção ou crescimento menos expressivo das lavouras, mas o próximo ponto de inflexão em 2018 demonstrou a redução como fato isolado, visto que no ano de 2019 o quantitativo de áreas superou o que se tinha pré-escassez em números absolutos, porém, não ocorreu uma retomada da taxa de crescimento anterior, o que mostra que talvez, com as regras de alocação de água imposta pela ação judicial, tenha indicado uma área máxima de plantio irrigado de soja na região.

Dos planos de ação destinados à agricultura irrigada e desenvolvimento regional para gestão e mitigação de conflito por uso da água que constam no PBH-Formoso (TOCANTINS, 2007), destacam-se quatro principais, sendo o nº 1 falando do incremento da quantidade e disponibilidade pelo uso de reservatórios; o nº 3 sobre a racionalização quantitativa das

demandas para irrigação; o nº 17 sobre estruturação do comitê de gerenciamento e o nº 23 a respeito da mobilização e comunicação social.

A efetivação desses mecanismos é complexa e mesmo quando implantadas total ou parcialmente, podem não alcançar os resultados desejados. A implantação de medidas estruturais para regularização da vazão ou captação de água, por exemplo, pode ser conflituosa quando parte de proprietários isolados e não do poder público ou cooperativas/comitê, diluindo o potencial articulador previsto no plano.

O próprio Comitê de Bacia, criado em 2011 (TOCANTINS, 2011), merece estudos específicos para verificação das relações de influência entre os membros efetivos e demais setores do poder público, setor privado e representantes da sociedade, modo de composição, divulgação e transparência das ações adotadas para direcionamento de recursos humanos e financeiros, para que de fato o seu objetivo se materialize.

Quando vivenciado, o evento de escassez apontou o poder judiciário como principal articulador entre diferentes atores. Analisando o papel da ação civil pública como ferramenta resolútoría do conflito de uso da água, Aires et al. (2021) apresentam diversos casos no país e comentam sobre ação cautelar com natureza antecipatória em que o MPE/TO demandou o pedido de suspensão total da retirada de recursos hídricos, de abertura de canais, de represamento e de construção de diques e barragens nos Rios Urubu e Formoso nos municípios de Lagoa da Confusão/TO e Cristalândia/TO em 2016.

A participação do poder judiciário é legalmente válida e apresenta casos interessantes de resolução satisfatória, mas deve ser vista com ressalvas devido a transferência da responsabilidade de garantia da concretização da proteção ambiental do Poder Executivo para o Poder Judiciário (MACIEL; KOERNER, 2002; ARAÚJO et al., 2017), e para que esse cenário não se concretize, é necessária a intensificação da governança hídrica no contexto da BHRF.

Compreendida como o arranjo de sistemas políticos, sociais, econômicos e administrativos que existem para desenvolver e gerir os recursos hídricos e a prestação de serviços hídricos a diferentes níveis da sociedade, a governança hídrica a base da qual as sociedades escolhem e aceitam administrar seus assuntos relacionados à água. Inclui governos, forças de mercado que ajudam a alocar recursos e qualquer outro mecanismo que regule a interação humana (GWP, 2003).

Estando os atores cientes de sua participação e responsabilidades, novas metas podem ser traçadas com base na avaliação das ações passadas. Se devido à complexidade ambiental não seja possível inferir com exatidão a influência da mudança de cobertura e uso no processo de disponibilidade hídrica, é possível, entretanto, estabelecer relação direta com a demanda e

uma vez que existe alta probabilidade de repetição no curto e médio prazo de eventos de escassez, será necessário conviver com o cenário de incerteza e construir bases para mediação dos conflitos de forma menos onerosa do que o vivenciado na BHRF.

Neste novo cenário, a revisão do PBH-Formoso que contemple zoneamento ambiental que leve em consideração os usos pré-existentes e seu comportamento, a definição de áreas de interesse ambiental com base na diversidade ecológica e propensão a recarga de aquíferos, instituição de mecanismos que ponderem a relação de poder entre os atores e sua efetiva participação no processo de decisão se faz necessária para compatibilização dos conflitos.

## 9. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs realizar a análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, correlacionando os dados obtidos com o zoneamento proposto pelo Plano de Bacia Hidrográfica e suas implicações ambientais. Foram evidenciadas 09 (nove) classes de cobertura e uso presente em todos os anos, que, juntas, formam um complexo sistema de interação de ganhos e perdas de áreas.

As principais transformações ocorreram na porção norte da BHRF, próxima à foz e áreas marginais ao canal principal do Rio Formoso com ampliação das lavouras temporárias e cultivo de soja, e na porção sul, na região das cabeceiras com abertura de pastagens e cultivo de soja em sequeiro.

A respeito do quantitativo, com a pesquisa apresentou as classes de formação savânica e pastagem como as predominantes na área de estudo, que juntas correspondem a mais de 80% e são as que mais contribuem na dinâmica de transição de paisagem. Nesse aspecto, evidenciou-se o crescimento expressivo das classes agrícolas sobre classes de formação natural, apresentando algumas peculiaridades.

Na BHRF, constatou-se que as pastagens são as principais responsáveis pela diminuição de áreas naturais, enquanto que as lavouras temporárias e cultivo de soja tendem a crescer em áreas já antropizadas, principalmente pelo primeiro uso citado. Em um primeiro momento, lavouras temporárias atuavam como intermediárias na conversão de pastagem para soja, mas tiveram sua relevância diminuída ano a ano, devido a conversão direta entre as classes, mostrando a força de transformação que este cultivo específico proporciona.

No âmbito das áreas naturais, estas apresentaram redução total e apenas a classe de formação florestal apresentou indícios de aumento nos últimos anos. Entretanto, em anos anteriores foi perceptível a conversão de áreas florestais em savânicas, o que serve de alerta para possíveis efeitos do comportamento hidrogeológico da BHRF e o favorecimento a espécies mais adaptadas ao déficit hídrico, sendo recomendado estudos mais aprofundados sobre esse compartimento ambiental.

O cultivo de soja irrigada na porção centro e norte da bacia é importante vetor de transformação da região e os reflexos no aumento da demanda de recursos hídricos devem ser compatibilizado com a quantidade disponível para todos os usos, para que o processo de gerenciamento de crises que possam ocorrer em eventos futuros de escassez, não sejam tão onerosos no quesito de tempo, recursos financeiros e humanos.

Sobre o planejamento territorial proposto pelo PBH-Formoso, este teve pouca ou nenhuma influência no processo de ocupação e dinâmica de transformação das classes, e sua análise demonstrou superficialidade na aplicação da metodologia proposta por desconsiderar usos pré-existentes da terra e demais compartimentos ambientais que contribuiriam com o processo de tomada de decisão e efetividade na aplicação.

Sugere-se ao poder público a revisão do PBH-Formoso, com consulta e escuta ativa aos atores regionais, promovendo a governança hídrica; o aprimoramento do método de zoneamento com base em informações mais precisas, afim de direcionar esforços, priorizar áreas de interesse ecológico como de recarga de aquífero ou com espécies endêmicas e garantir a sustentabilidade financeira para que as ações sejam contínuas.

Para trabalhos futuros sugere-se a proposição de cenários para evolução do uso e cobertura do solo com base na linha de tendência atual e outras possíveis interações; a relação de poder entre os atores locais, regionais e o processo de tomada de decisão por parte do Comitê de Bacia e demais órgãos do poder público; estimativa da pegada hídrica das culturas plantadas, além do potencial de evaporação dos canais de irrigação; a análise da resposta da vegetação local em condição de estresse hídrico; influência do mercado de commodities no quantitativo de áreas e o tipo de culturas escolhidas.

Por fim, a relevância ambiental e econômica da região da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso no contexto regional e nacional, somada a disponibilização de dados gratuitos e com boa acurácia pelo Projeto Mapbiomas, incentiva que o monitoramento da transição de uso e cobertura da terra seja elaborado com frequência e permite direcionar esforços para formulação e execução de políticas públicas.

## REFERÊNCIAS

- ADNAN, M.S.G. et al. The use of watershed geomorphic data in flash flood susceptibility zoning: a case study of the Karnaphuli and Sangu river basins of Bangladesh. **Natural Hazards**, vol. 99. 2019. p. 425–448.
- AIRES, K. H. S. et al. Ação civil pública como instrumento efetivação dos recursos hídricos. IN: XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais Eletrônicos**. Belo Horizonte: ABRHidro. 2021. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/142/XXIV-SBRH0284-1-20210602-122205.pdf>
- ALVES, K. C. C. L. F. et al. Avaliação Temporal dos Conflitos de Uso do Solo na Bacia do Rio Formoso, Tocantins. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 35, n. 83, p. 271–283, 2015.
- ANTONELI, V; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Rev. Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.8, n.21, p. 46-58, jun. 2007.
- ARAÚJO, J. L. et al. A Judicialização das Questões Ambientais e os Seus Impactos do Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado: Um Estudo de Caso da Aplicação da Lei Nº 9.985/2000. **Revista Acadêmica Escola Superior do Ministério Público do Ceará**. v. 9, n. 1, 2017. p. 85 – 105.
- BARBOSA, E. H. B.; SAKAMOTO, A. Y.; BACANI, V. M. Proposta de Zoneamento Ambiental para a Bacia Transfronteiriça do Rio Apa. **Rev. Interações**, Campo Grande/MS, v. 17, n. 2, p. 210-222, abr./jun. 2016.
- BARRELLA, W. et al. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes**. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. p. 187 – 207.
- BIE, C. A. J. M. de; LEEUWEN, J. A. van; ZUIDEMA, P. A. **The Land Use Database**. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Food and Agriculture Organization; United Nations Environment Programme; Wageningen University, 1996. 41 p. Disponível em: <http://ces.iisc.ernet/> Acesso em: 30 abril 2020.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm) . Acesso em: 30 de abril 2020.
- BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. 2ed. WVU Research Repository, 2020.
- CALIJURI, M. L. et al. Impact of land use/land cover changes on water quality and hydrological behavior of an agricultural subwatershed. **Environmental Earth Science** n. 74, 2015. p. 5373–5382.
- CARVALHO, A. T. F. Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**. n. 42, p. 140 – 161, jan – jun, 2020.

CHAN, Y. Remote Sensing and Geographic Information Systems. In: Location Theory and Decision Analysis. Springer, Berlin, Heidelberg. 2011. p. 281 – 361.

CHHABRA A. et al. **Multiple Impacts of Land-Use/Cover Change**. In: LAMBIN, E.F.; GEIST; H. (org.) Land-Use and Land-Cover Change. Global Change - The IGBP Series. Berlin: Springer. 2006.

FARIAS, J. F.; SILVA, E. V. Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Palmeira-Ceará: Subsídios ao Planejamento Ambiental. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p.149-163, out. 2015.

FERREIRA, F. L. V., et al. Influence of changes in land use and land cover and rainfall on the streamflow regime of a watershed located in the transitioning region of the Brazilian Biomes Atlantic Forest and Cerrado. **Environmental Monit Assess**, n. 193, 2021. 16p.

GARRETT, R. D. et al. Intensification in Agriculture-forest Frontiers: land use responses to development and conservation policies in Brazil. **Global Environmental Change**, vol. 53, p. 233 – 243.

GEIST, H., et al. Causes and Trajectories of Land-Use/Cover Change. In: LAMBIN, E.F., GEIST H. (ed.) **Land-Use and Land-Cover Change**. Global Change - The IGBP Series. Berlin: Springer. 2006. p. 41 – 70.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 6 ed. São Paulo: Editora Atlas. 2017. 192p.

GWP – Global Water Partnership. **Effective Water Governance**. 2002, 24p.

HOLLER, W. A. **Cadernos de Geoprocessamento 10: como proceder na detecção de mudanças de uso e cobertura da terra**. Embrapa Florestas: Colombo – PR, 2018. 19p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal SIDRA. **Produção Agrícola Municipal, ano de referência 2020**. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas> . Acesso em dezembro de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual de Geoprocessamento: Classificação de imagens**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>. Acesso em: 03 de maio de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3 ed. 2013. 171p.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H.; RINDFUSS, R. R. Local Processes with Global Impacts. **Global Change - The IGBP Series**, p. 1–8.

LAMBIN, E. F; GEIST, H. J.; LEPERS, E. **Dynamics of Land-use and Land-Cover Change in Tropical Regions**. Annual Review on Environmental Research. 2003.

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI Jr., R.; BERTOLINI, D.; Espíndola, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4a Aproximação. 2. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.175p.

LIMA, I. L. P. et al. Livestock Management Within a Traditional Agrosilvopastoral System in Northern Minas Gerais, Brazil: A Model for Reconciling Livelihoods and Conservation at a Time of Environmental Change. **Human Ecology**, n. 50, 2022, p. 183–193.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. **Hidrologia de Matas Ciliares**. Acerco Histórico IPEF: Informações Técnicas. 2000. Disponível em: [https://www.ipef.br/publicacoes/acervohistorico/informacoestecnicas/hidrologia\\_de\\_matas\\_ciliares.aspx](https://www.ipef.br/publicacoes/acervohistorico/informacoestecnicas/hidrologia_de_matas_ciliares.aspx). Acesso em dezembro de 2021.

MACIEL, D. A.; KOERNER, A. Sentidos da judicialização da política: duas análises. **Rev. Lua Nova**, São Paulo, n. 57, p. 112 – 134, 2002.

MAGALHÃES, C. A. S. et al. Crop, livestock and forestry performance assessment under different production systems in the north of Mato Grosso, Brazil. **Agroforest Syst**, n. 93, 2019, p. 2085–2096.

MAGDALENA, U.R. et al. Conservation Policy Changes in Protected Areas on Hilltops in Brazil: Effects on Hydrological Response in a Small Watershed. **Water Resources Management**. 2022.

MANFRÉ, L. A. et al. Environmental fragility evaluation and guidelines for environmental zoning: a study case on Ibiuna (the Southeastern Brazilian region). *Environmental Earth Sciences* vol. 69, 2013. p. 947–957.

MASOUDI, M. GIS-Based Multi-Criteria and Multi-Objective Evaluation for Sustainable Land-Use Planning (Case Study: Qaleh Ganj County, Iran) “Landuse Planning Using MCE and Mola”. **International Journal of Environmental Research**, n. 15. 2021. p. 457–474

MEDEIROS, I. C. Run-of-erosion modelling and water balance in the Epitácio Pessoa Dam river basin, Paraíba State in Brazil. **International Journal of Environmental Science and Technology**. n. 16, 2019. p. 3035 – 3048.

MUSTARD, J. F et al. **Land-use and Land-cover Change Pathways and Impacts**. In: Gutman G. et al. (ed.) *Land Change Science: Remote Sensing and Digital Image Processing*, vol. 6, Germany: Springer. 2012, p. 411 – 429.

NABATI, J. et al. An integrated approach land suitability for agroecological zoning based on fuzzy inference system and GIS. **Environment, Development and Sustainability**. vol. 8, 2022.

NASCIMENTO, O. **Projeto Rio Formoso Irrigação - Estudo técnico financeiro. v 1, Goiânia: Secretaria do Planejamento e Coordenação do Estado de Goiás**, 162p. 1980. IN: SILVA, A. J. Sensoriamento remoto como subsídio para a gestão agrícola: estudo de caso do Projeto de Irrigação Rio Formoso, Formoso do Araguaia – TO. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Tecnologia de Processos Sustentáveis). Goiânia: Instituto Federal de Goiás. 96f. 2015.

NASCIMENTO, O. **Projeto Rio Formoso Irrigação - Estudo técnico financeiro. v 2, Goiânia: Secretaria do Planejamento e Coordenação do Estado de Goiás**, 112p. 1980. IN: SILVA, A. J. Sensoriamento remoto como subsídio para a gestão agrícola: estudo de caso do Projeto de Irrigação Rio Formoso, Formoso do Araguaia – TO. Dissertação (Mestrado

Acadêmico em Tecnologia de Processos Sustentáveis). Goiânia: Instituto Federal de Goiás. 96f. 2015.

NUNES, D. S. et al. Análise estrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, Tocantins, por meio da metodologia MICMAC. IN: XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais Eletrônicos**. Belo Horizonte: ABRHidro. 2021. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/142/XXIV-SBRH0285-1-20210607-202629.pdf>

NUNES, D. S.; MELO, W. F.; BRACARENSE, L. S. F. P. Implicações Socioeconômicas da Rodovia BR-153 e os Reflexos no Desenvolvimento Urbano no Tocantins. **Revista Humanidades e Inovação**, v.7, n.14 – 2020, p. 48 – 61.

OLIVEIRA, P. T. S. et al. Erosion Risk Mapping Applied to Environmental Zoning. **Water Resources Management**, vol. 25, 2011. p 1021–1036.

OSUNA, V. R. et al. Priority areas for watershed service conservation in the Guapi-Macacu region of Rio de Janeiro, Atlantic Forest, Brazil. *Ecological Process*. 2014. p. 3 – 16.

PLA-SENTÍS, I. **Hydrological Approach for Evaluating Soil and Water Degradation Processes in a Changing Environment**. In: ALCONADA-MAGLIANO, M. M. (org.). *Intensified Land and Water Use: a holistic perspective of local to regional integration*. Switzerland: Springer Earth System Sciences. 2021, p. 1 – 24.

PONTINUS-JR, R. G., et al. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. **Agriculture Ecosystems & Environment**. n. 101, 2004. p. 251 – 268.

RAJU, K. V.; HEGDE, V. R.; HEDGE, S. A. **Land Use**. In: \_\_\_\_\_. *Geospatial Technologies for Agriculture*. Springer Briefs in Environmental Science: Cham. 2018, p, 91 – 93.

REAL, L.S.C. et al. Evaluation of gully development over several years using GIS and fractal analysis: a case study of the Palmital watershed, Minas Gerais (Brazil). **Environ Monit Assess**, vol. 192, n. 434, 2020.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. F. **Técnicas de Hidrografia**. In: VENTURI, Luis Antonio Bittar. *Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula*. São Paulo: Sarandi, 2011, p. 57 – 82.

ROSA, M.; SHIMBO, J. Z.; AZEVEDO, T. **Mapbiomas – mapeando as transformações do território brasileiro nas últimas três décadas**. In: VIII Simpósio Brasileiro de Restauração Ecológica. São Paulo: Instituto de Botânica, 2019.

SANO, E. E. et al. Land Cover Mapping of the Tropical Savanna Region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**. n. 160, 2010. p. 113 – 124.

SHIVPUJE, P. et al. **Investigation for Land Use and Land Cover Change Detection Using GIS**. In: SATAPATHY, S.; BHATT, Y.; JOSHI, A.; MISHRA D. (org.) *Proceedings of the International Congress on Information and Communication Technology: Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 439. Singapore: Springer, p. 393 – 399.

SIEGMUND-SCHULTZE, M.; KÖPPEL, J.; SOBRAL, M. C. Unraveling the water and land nexus through inter- and transdisciplinary research: sustainable land management in a semi-

arid watershed in Brazil's Northeast. **Regional Environmental Change**. vol. 18, n 7. 2018. p. 2005-2017.

SILVA, A. J. d., MONTEIRO, M. S. L., & SILVA, M. V.. Contrapontos da consolidação do agronegócio no cerrado brasileiro. **Sociedade e Território**, 27, p. 95–114.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica**. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. p. 35 – 57.

SOUSA, L. F. et al. Modeling land use change impacts on a tropical river basin in Brazil. **International Journal of Environmental Science and Technology**. n. 18, 2021, p. 2405–2424.

SOUZA et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, Volume 12, Issue 17, 2020.

TANIGUCHI, M. **Subsurface Hydrological Responses to Land Cover and Land Use Changes**. Boston: Springer. 1997. p. 1 – 20.

TEODORO, V. L. I. et al. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Rev. Uniara**, n. 20, 2007.p. 137 – 157.

TOCANTINS (ESTADO). Instituto Natureza do Tocantins. **Portaria Naturatins nº 300, de 12 de agosto de 2016**. Dispõe sobre a suspensão de outorgas de recursos hídricos. Diário Oficial do Estado nº 4689 de 22 de agosto de 2016, p. 40. TUCCI, Carlos Eduardo Morelli (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1997.

TOCANTINS (Estado). Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Tocantins. **Instrução Normativa nº 05 de 11 de março de 2021**. *Estabelece o Programa Estadual de Controle da Ferrugem Asiática da Soja (PECFS) e institui as medidas e ações de profilaxia e controle da praga “Ferrugem Asiática da soja” (Phakopsora pachyrhizi) no Estado do Tocantins*. Disponível em: <https://central.to.gov.br/download/3802>. Acesso em janeiro de 2022.

TOCANTINS (Estado). Decreto nº 4.252 de 22 de março de 2011. *Institui o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso e adota outras providências*. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**, Poder Executivo, Palmas – TO, 22 de março de 2011.

TOCANTINS (Estado). Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. **Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso – PBH Rio Formoso**. 2007. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/269430/>. Acesso em: 29 de abril de 2020.

TOCANTINS (Estado). Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. **Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso – PBH Rio Formoso, no Estado do Tocantins**. 2007. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/269430/>. Acesso em: 29 de abril de 2020.

TURNER, B.L. II et al. **Land-Use and Land-Cover Chang, Science/Research Plan**. IGBP Report no. 35. Stockholm and Geneva: IGBP. 1995.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS. Instituto de Atenção às Cidades. **Gestão de Alto Nível dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Formoso**. Disponível em: <http://gestaodealtonivel.iacuft.org.br/Noticias>. Acesso em: 05 de maio de 2020.

VANZELA, L. S. et al. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marianópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n. 1, 2010. p. 55 – 64.

VILAÇA, M. F. et al. Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento e Gestão: o estudo de caso do Ribeirão Conquista no município de Itaguara – MG. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13, Viçosa. **Anais...Viçosa/MG: Universidade Federal de Viçosa**, 2009.

WANG, G. Three Types of Spatial Function Zoning in Key Ecological Function Areas Based on Ecological and Economic Coordinated Development: A Case Study of Tacheng Basin, China. **Chin. Geogra. Sci.** vol. 29 n. 4. 2019. p. 689–699.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **The Dublin Statement and report of the conference**. In: International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century, 26-31. Dublin, jan. 1992.

WU, L. et al. Landscape scaling of different land-use types, geomorphological styles, vegetation regionalizations, and geographical zonings differs spatial erosion patterns in a large-scale ecological restoration watershed. **Environmental Science and Pollution Research**, vol. 28, 2021. p. 38374–38392.

## APÊNDICES

Apêndice A – Matrizes de Tabulação Cruzada de Transição de Cobertura e Uso do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso de acordo Zoneamento Ambiental e Série Temporal (2007 – 2019)

Matriz de Tabulação Cruzada da Zona de Alta Utilização Agrícola entre 2007 e 2019.

	2019 (km <sup>2</sup> )								
	Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2007 (km <sup>2</sup> )									
Áreas não Vegetadas	1,257	0,008	0,018	0,002	0,207	0,271	0,121	2,243	0,413
Corpos Hídricos	0,153	9,795	0,387	0,934	1,224	.	.	0,397	.
Formação Campestre	.	.	38,110	0,017	1,981	0,001	0,075	15,703	0,339
Formação Florestal	0,036	0,695	0,030	332,020	19,259	.	0,539	25,937	0,519
Formação Savânica	1,649	2,674	1,512	38,201	2.332,918	0,032	13,574	666,112	23,676
Infraestrutura Urbana	0,002	.	.	.	0,002	7,073	.	.	.
Lavouras Temporárias	.	.	.	.	0,072	.	0,549	1,978	4,319
Pastagem	7,505	0,940	10,596	6,790	170,756	1,045	64,667	2.774,975	240,730
Cultivo de Soja	.	.	.	.	0,004	.	1,091	0,808	8,720
<b>Ganho</b>	9,345	4,317	12,543	45,944	193,505	1,349	80,067	713,177	269,997
<b>Perda</b>	3,282	3,096	18,116	47,016	747,430	0,004	6,368	503,029	1,903
<b>Manutenção</b>	1,257	9,795	38,110	332,020	2.332,918	7,073	0,549	2.774,975	8,720
<b>Variação</b>	6,064	1,222	-5,573	-1,072	-553,926	1,345	73,699	210,148	268,094

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da Zona de Alta Utilização Agrícola Restrita entre 2007 e 2019.

	2019 (km <sup>2</sup> )								
	Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2007 (km <sup>2</sup> )									
Áreas não Vegetadas	1,098	0,002	0,061	0,186	0,417	0,070	0,002	2,991	0,021
Corpos Hídricos	0,096	38,505	1,410	2,019	4,629	0,004	.	0,210	.
Formação Campestre	0,249	0,462	112,575	0,117	3,785	0,015	1,168	28,986	1,698
Formação Florestal	0,508	0,853	0,964	587,507	29,120	0,010	1,906	51,271	5,565
Formação Savânica	3,497	2,117	7,545	46,110	4.031,997	0,361	14,707	1.041,411	34,510
Infraestrutura Urbana	.	.	.	0,002	0,001	3,861	.	0,001	.
Lavouras Temporárias	.	.	.	0,022	0,061	.	0,613	2,699	2,625
Pastagem	7,912	0,378	20,911	9,071	264,265	1,481	35,291	2.724,510	113,692
Cultivo de Soja	0,024	.	.	.	0,001	0,101	0,413	1,724	1,633
<b>Ganho</b>	12,287	3,811	30,891	57,528	302,278	2,041	53,486	1.129,295	158,110
<b>Perda</b>	3,750	8,367	36,480	90,197	1.150,259	0,004	5,408	453,000	2,263
<b>Manutenção</b>	1,098	38,505	112,575	587,507	4.031,997	3,861	0,613	2.724,510	1,633
<b>Variação</b>	8,537	-4,556	-5,588	-32,669	-847,981	2,037	48,079	676,295	155,847

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da Zona de Baixa Utilização Agrícola entre 2007 e 2019.

	2019 (km <sup>2</sup> )								
	Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2007 (km <sup>2</sup> )									
Áreas não Vegetadas	0,235	0,000	0,012	0,003	0,017	.	0,051	0,179	0,078
Corpos Hídricos	0,276	45,227	3,670	3,620	3,909	.	0,097	0,327	0,025
Formação Campestre	1,150	0,813	317,919	0,761	5,970	.	12,284	35,878	10,003
Formação Florestal	0,210	1,044	9,007	567,297	85,180	.	5,072	40,950	8,572
Formação Savânica	0,819	2,641	9,432	25,742	1.052,139	0,007	44,275	175,889	39,041
Infraestrutura Urbana	.	.	.	.	0,002	1,024	.	.	.
Lavouras Temporárias	.	0,014	0,021	.	0,158	.	18,513	0,348	39,545
Pastagem	1,520	0,181	13,616	2,058	46,232	0,123	63,428	298,247	82,166
Cultivo de Soja	.	.	0,030	0,002	0,004	.	6,162	0,082	21,774
<b>Ganho</b>	3,975	4,693	35,759	32,185	141,471	0,129	131,371	253,652	179,429
<b>Perda</b>	0,340	11,923	66,860	150,036	297,846	0,002	40,085	209,325	6,279
<b>Manutenção</b>	0,235	45,227	317,919	567,297	1.052,139	1,024	18,513	298,247	21,774
<b>Variação</b>	3,635	-7,229	-31,100	-117,851	-156,375	0,128	91,285	44,327	173,151

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da Zona de Proteção Ambiental entre 2007 e 2019.

		2019 (km <sup>2</sup> )								
		Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2007 (km <sup>2</sup> )	Áreas não Vegetadas	0,074	0,001	0,014	0,004	0,017	0,059	0,040	0,298	0,007
	Corpos Hídricos	0,070	31,886	0,593	2,783	1,648	.	.	0,549	.
	Formação Campestre	0,222	0,324	30,915	0,053	1,159	0,002	2,499	8,435	1,037
	Formação Florestal	0,121	2,500	1,459	346,287	28,965	.	2,561	11,022	0,760
	Formação Savânica	0,061	1,471	1,371	11,478	499,657	.	3,989	118,317	3,507
	Infraestrutura Urbana	.	.	.	.	.	0,025	.	.	.
	Lavouras Temporárias	.	.	0,086	.	0,035	.	0,737	0,160	1,995
	Pastagem	0,666	0,699	3,590	1,094	22,284	0,092	26,924	273,920	26,289
	Cultivo de Soja	.	.	.	.	.	.	1,786	0,032	3,151
	Ganho	1,141	4,995	7,112	15,411	54,107	0,153	35,797	138,814	33,595
	Perda	0,438	5,643	13,731	45,387	140,193	0,000	2,276	81,638	1,818
	Manutenção	0,074	31,886	30,915	346,287	499,657	0,025	0,737	273,920	3,151
	Varição	0,702	-0,648	-6,619	-29,976	-86,086	0,153	33,521	57,175	31,777

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da BHRF entre 2007 e 2008.

		2008 (km <sup>2</sup> )								
		Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2007 (km <sup>2</sup> )	Áreas não Vegetadas	4,351	0,016	0,138	0,117	0,549	0,019	.	5,341	0,114
	Corpos Hídricos	0,011	147,191	0,621	3,639	3,358	.	0,004	0,199	.
	Formação Campestre	0,109	1,109	613,435	0,166	4,910	.	0,410	18,178	1,203
	Formação Florestal	0,010	0,871	3,414	2.115,732	59,568	.	3,920	16,067	0,406
	Formação Savânica	1,954	1,859	4,544	21,133	10.251,513	0,015	7,284	222,750	0,963
	Infraestrutura Urbana	0,004	.	.	.	0,008	12,149	.	0,004	.
	Lavouras Temporárias	0,075	0,008	0,353	0,072	0,303	.	63,559	4,078	6,101
	Pastagem	2,189	0,409	13,205	2,302	156,145	0,204	5,849	7.483,615	10,888
	Cultivo de Soja	.	.	0,016	0,004	0,103	.	1,742	1,800	45,605
	Ganho	4,353	4,273	22,292	27,433	224,944	0,238	19,208	268,417	19,675
	Perda	6,294	7,832	26,087	84,256	260,503	0,016	10,990	191,191	3,665
	Manutenção	4,351	147,191	613,435	2.115,732	10.251,513	12,149	63,559	7.483,615	45,605
	Varição	-1,941	-3,559	-3,795	-56,823	-35,559	0,222	8,218	77,226	16,010

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da BHRF entre 2008 e 2009.

		2009 (km <sup>2</sup> )								
		Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2008 (km <sup>2</sup> )	Áreas não Vegetadas	3,547	0,022	0,068	0,384	0,440	0,178	0,044	3,922	0,083
	Corpos Hídricos	0,010	146,791	0,312	1,459	2,689	.	0,007	0,140	.
	Formação Campestre	0,495	0,384	615,888	0,035	6,415	0,001	1,429	10,263	0,881
	Formação Florestal	0,101	0,810	0,911	2.096,640	34,364	0,001	2,010	6,310	0,366
	Formação Savânica	0,937	1,741	3,811	12,503	10.292,271	0,010	2,855	167,272	0,692
	Infraestrutura Urbana	0,001	.	.	.	0,003	12,384	.	0,005	.
	Lavouras Temporárias	.	0,012	0,177	0,002	0,178	0,005	68,958	4,693	8,700
	Pastagem	3,534	0,449	20,799	2,986	171,566	0,231	7,403	7.525,387	15,714
	Cultivo de Soja	.	.	0,477	.	0,372	0,061	5,178	9,280	49,949
	Ganho	5,079	3,418	26,556	17,369	216,027	0,487	18,925	201,884	26,436
	Perda	5,142	4,617	19,902	44,872	189,821	0,009	13,767	222,683	15,368
	Manutenção	3,547	146,791	615,888	2.096,640	10.292,271	12,384	68,958	7.525,387	49,949
	Varição	-0,063	-1,199	6,654	-27,503	26,206	0,478	5,159	-20,799	11,068

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da BHRF entre 2009 e 2010.

		2010 (km <sup>2</sup> )								
		Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2009 (km <sup>2</sup> )	Áreas não Vegetadas	4,299	0,021	0,082	0,335	0,490	0,054	0,002	3,323	.
	Corpos Hídricos	0,037	143,402	2,301	1,120	2,704	0,003	0,003	0,543	.
	Formação Campestre	0,152	0,233	622,504	0,135	6,178	0,011	0,798	12,269	0,374
	Formação Florestal	0,089	0,733	0,275	2.068,421	35,061	.	0,121	7,337	0,004
	Formação Savânica	2,415	1,261	4,680	14,071	10.286,438	0,025	1,312	201,902	0,624
	Infraestrutura Urbana	0,004	.	.	.	0,003	12,876	.	0,003	.
	Lavouras Temporárias	.	0,005	0,193	0,005	0,258	.	71,223	9,311	7,018
	Pastagem	3,905	0,167	19,924	3,668	127,987	0,306	4,298	7.548,666	15,513
	Cultivo de Soja	.	.	0,409	0,077	0,267	0,026	2,994	4,726	68,001
	<b>Ganho</b>	6,601	2,421	27,863	19,411	172,949	0,424	9,527	239,414	23,532
<b>Perda</b>	4,308	6,710	20,150	43,618	226,289	0,010	16,789	175,768	8,499	
<b>Persistência</b>	4,299	143,402	622,504	2.068,421	10.286,438	12,876	71,223	7.548,666	68,001	
<b>Varição</b>	2,293	-4,290	7,714	-24,207	-53,341	0,414	-7,262	63,646	15,032	

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da BHRF entre 2010 e 2011.

		2011 (km <sup>2</sup> )								
		Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2010 (km <sup>2</sup> )	Áreas não Vegetadas	4,148	0,018	0,112	1,111	0,871	0,016	.	4,590	.
	Corpos Hídricos	0,012	140,885	0,925	1,215	2,540	.	0,005	0,193	.
	Formação Campestre	0,394	1,624	624,648	0,195	6,279	0,001	0,972	15,985	0,395
	Formação Florestal	0,222	1,107	10,563	1.998,684	64,260	.	0,046	11,260	0,017
	Formação Savânica	2,183	1,844	3,736	21,637	10.218,810	0,047	1,383	208,693	0,813
	Infraestrutura Urbana	0,003	0,002	.	0,001	0,001	13,304	.	0,007	.
	Lavouras Temporárias	.	0,336	0,072	0,043	0,508	.	57,075	2,723	20,205
	Pastagem	1,413	0,727	17,107	3,575	119,670	0,079	27,130	7.582,522	37,346
	Cultivo de Soja	.	.	0,654	0,001	0,312	.	6,775	3,894	80,026
	<b>Ganho</b>	4,226	5,657	33,169	27,777	194,439	0,143	36,311	247,344	58,776
<b>Perda</b>	6,718	4,889	25,843	87,474	240,336	0,013	23,887	207,047	11,636	
<b>Persistência</b>	4,148	140,885	624,648	1.998,684	10.218,810	13,304	2,723	7.582,522	80,026	
<b>Varição</b>	-2,492	0,769	7,326	-59,697	-45,897	0,130	12,424	40,297	47,141	

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da BHRF entre 2011 e 2012.

		2012 (km <sup>2</sup> )								
		Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2011 (km <sup>2</sup> )	Áreas não Vegetadas	4,209	0,049	0,073	0,213	0,173	0,029	0,001	3,598	0,003
	Corpos Hídricos	0,001	143,833	0,529	0,642	1,462	.	0,004	0,133	0,005
	Formação Campestre	0,323	0,629	621,739	0,094	15,627	.	6,163	13,041	0,261
	Formação Florestal	0,126	1,258	0,382	1.990,605	25,716	0,005	0,019	7,180	0,002
	Formação Savânica	4,402	2,873	3,471	15,589	10.138,325	0,014	9,844	238,057	0,460
	Infraestrutura Urbana	0,001	.	.	.	0,003	13,438	.	0,008	.
	Lavouras Temporárias	0,027	0,004	0,049	0,227	0,272	.	79,498	5,462	8,399
	Pastagem	1,888	0,383	22,030	3,179	130,886	0,099	55,099	7.595,921	20,901
	Cultivo de Soja	.	.	0,040	0,002	0,275	.	9,834	2,614	126,251
	<b>Ganho</b>	6,767	5,198	26,574	19,946	174,414	0,146	80,963	270,093	30,031
<b>Perda</b>	4,140	2,776	36,137	34,688	274,709	0,012	14,441	234,465	12,764	
<b>Persistência</b>	4,209	143,833	621,739	1.990,605	10.138,325	13,438	79,498	7.595,921	126,251	
<b>Varição</b>	2,627	2,422	-9,563	-14,742	-100,295	0,134	66,522	35,628	17,267	

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da BHRF entre 2012 e 2013.

	2013 (km²)								
	Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2012 (km²)									
Áreas não Vegetadas	2,911	0,021	0,086	0,286	0,202	0,021	0,032	7,385	0,011
Corpos Hídricos	0,001	143,731	0,625	1,370	3,065	0,003	0,004	0,187	0,020
Formação Campestre	0,334	0,946	616,649	0,210	8,918	.	2,857	16,453	1,950
Formação Florestal	0,117	2,159	0,212	1.978,429	19,736	0,002	0,314	9,634	0,023
Formação Savânica	1,898	2,305	3,745	24,768	9.933,151	0,012	10,623	331,420	3,766
Infraestrutura Urbana	0,004	.	.	0,001	0,002	13,588	.	0,012	.
Lavouras Temporárias	.	0,006	0,138	0,001	0,603	.	109,176	1,644	49,659
Pastagem	0,838	0,571	17,595	2,098	131,122	0,367	19,016	7.675,642	18,977
Cultivo de Soja	.	.	0,022	.	0,093	.	13,515	3,528	139,135
Ganho	3,191	6,008	22,424	28,734	163,742	0,405	46,362	370,262	74,405
Perda	8,043	5,274	31,668	32,197	378,538	0,018	52,052	190,584	17,158
Persistência	2,911	143,731	616,649	1.978,429	9.933,151	13,588	49,659	7.675,642	139,135
Varição	-4,852	0,734	-9,244	-3,463	-214,796	0,387	-5,690	179,678	57,247

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da BHRF entre 2013 e 2014.

	2014 (km²)								
	Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2013 (km²)									
Áreas não Vegetadas	2,066	0,014	0,034	0,001	0,074	0,019	0,555	3,075	0,256
Corpos Hídricos	0,026	145,557	0,635	1,404	1,754	.	0,090	0,256	0,008
Formação Campestre	0,168	3,113	600,606	0,595	6,763	.	7,485	18,809	1,246
Formação Florestal	0,043	1,056	0,221	1.974,436	19,910	.	1,811	10,357	0,009
Formação Savânica	1,530	2,719	2,534	13,965	9.726,371	0,007	19,461	324,128	1,664
Infraestrutura Urbana	0,003	.	.	.	0,001	13,972	.	0,015	.
Lavouras Temporárias	0,097	0,008	0,369	0,007	1,004	.	106,009	14,110	34,346
Pastagem	2,055	1,027	10,697	2,129	98,744	0,153	176,903	7.722,782	34,959
Cultivo de Soja	.	.	0,031	0,002	0,086	.	10,893	6,739	195,970
Ganho	3,922	7,935	14,521	18,102	128,335	0,179	217,198	377,489	72,487
Perda	4,027	4,172	38,178	33,407	366,009	0,019	49,941	326,666	17,750
Persistência	2,066	145,557	600,606	1.974,436	9.726,371	13,972	106,009	7.722,782	195,970
Varição	-0,106	3,764	-23,657	-15,304	-237,674	0,160	167,257	50,823	54,737

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da BHRF entre 2014 e 2015.

	2015 (km²)								
	Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2014 (km²)									
Áreas não Vegetadas	3,091	0,095	0,029	.	0,193	0,041	.	2,519	0,048
Corpos Hídricos	0,021	150,142	0,893	0,740	1,520	.	0,010	0,362	0,013
Formação Campestre	0,480	0,705	596,048	0,047	4,117	.	0,615	12,639	0,438
Formação Florestal	0,812	2,074	0,530	1.956,233	18,132	.	0,175	14,709	0,007
Formação Savânica	6,752	3,812	3,267	12,993	9.485,466	0,006	1,381	333,497	0,818
Infraestrutura Urbana	0,011	.	.	.	0,003	14,152	.	0,002	.
Lavouras Temporárias	.	0,012	0,120	0,029	0,866	0,001	195,460	2,499	124,387
Pastagem	6,416	0,441	17,276	1,140	102,886	0,554	4,789	7.938,613	34,316
Cultivo de Soja	.	0,006	0,125	0,005	0,293	0,116	16,655	5,223	246,084
Ganho	14,491	7,145	22,241	14,955	128,009	0,717	23,623	371,450	160,027
Perda	2,924	3,559	19,041	36,437	362,526	0,016	127,915	167,818	22,423
Persistência	3,091	150,142	596,048	1.956,233	9.485,466	14,152	195,460	7.938,613	246,084
Varição	11,567	3,586	3,200	-21,482	-234,517	0,702	-104,292	203,632	137,604

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da BHRF entre 2015 e 2016.

		2016 (km <sup>2</sup> )								
		Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2015 (km <sup>2</sup> )	Áreas não Vegetadas	8,277	0,004	0,108	0,031	0,286	0,023	0,035	8,717	0,113
	Corpos Hídricos	0,035	150,349	1,092	1,046	4,153	.	0,002	0,510	0,026
	Formação Campestre	0,377	0,160	594,341	0,065	5,735	.	0,317	15,354	1,952
	Formação Florestal	0,186	0,407	0,573	1.936,856	20,942	.	0,148	11,677	0,018
	Formação Savânica	2,305	0,711	2,560	14,592	9.310,831	0,004	1,616	268,289	6,619
	Infraestrutura Urbana	0,006	0,001	.	.	0,001	14,872	.	0,006	.
	Lavouras Temporárias	0,009	0,016	0,108	0,028	0,656	.	149,628	1,525	67,205
	Pastagem	5,242	0,215	12,662	1,618	99,052	0,071	15,558	8.135,331	46,092
	Cultivo de Soja	0,006	0,038	0,018	0,176	0,005	.	17,666	3,657	385,046
	<b>Ganho</b>	8,159	1,519	17,141	17,398	131,002	0,101	35,342	309,735	122,024
<b>Perda</b>	9,317	6,865	23,960	33,950	296,694	0,014	69,546	180,509	21,566	
<b>Persistência</b>	8,277	150,349	594,341	1.936,856	9.310,831	14,872	149,628	8.135,331	385,046	
<b>Varição</b>	-1,158	-5,345	-6,819	-16,553	-165,692	0,088	-34,205	129,226	100,458	

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da BHRF entre 2016 e 2017.

		2017 (km <sup>2</sup> )								
		Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2016 (km <sup>2</sup> )	Áreas não Vegetadas	10,126	0,002	0,078	0,015	0,161	0,062	0,011	5,903	0,137
	Corpos Hídricos	0,023	145,927	0,981	1,882	2,175	0,001	0,011	0,739	0,004
	Formação Campestre	0,731	0,450	581,252	0,343	5,447	.	0,492	21,628	0,677
	Formação Florestal	0,256	0,886	0,269	1.925,832	14,422	0,002	0,302	13,043	0,026
	Formação Savânica	6,098	2,722	5,017	26,915	9.085,857	0,012	2,150	303,279	1,833
	Infraestrutura Urbana	0,005	0,001	.	0,001	0,002	14,981	.	0,001	.
	Lavouras Temporárias	0,001	0,003	0,043	0,015	0,157	0,004	151,239	1,141	32,614
	Pastagem	4,969	0,296	7,637	2,168	82,409	0,280	5,164	8.292,504	56,702
	Cultivo de Soja	0,007	0,006	0,276	0,016	0,337	.	39,017	10,493	457,270
	<b>Ganho</b>	12,090	4,366	14,300	31,354	105,111	0,361	47,147	356,227	91,991
<b>Perda</b>	6,368	5,816	29,769	29,204	348,026	0,010	33,977	159,624	50,152	
<b>Persistência</b>	10,126	145,927	581,252	1.925,832	9.085,857	14,981	151,239	8.292,504	457,270	
<b>Varição</b>	5,721	-1,450	-15,469	2,150	-242,915	0,351	13,169	196,603	41,839	

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da BHRF entre 2017 e 2018.

		2018 (km <sup>2</sup> )								
		Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2017 (km <sup>2</sup> )	Áreas não Vegetadas	13,209	0,005	0,162	0,010	0,186	0,001	0,050	7,341	1,393
	Corpos Hídricos	0,231	147,864	0,192	1,160	0,601	0,001	0,020	0,230	0,001
	Formação Campestre	0,543	0,750	559,200	0,683	5,571	.	2,235	25,626	0,442
	Formação Florestal	0,322	1,060	0,278	1.934,638	9,480	.	0,195	13,428	0,032
	Formação Savânica	3,535	3,417	3,594	37,506	8.843,810	0,005	5,269	281,717	1,415
	Infraestrutura Urbana	0,014	.	.	.	0,002	15,342	0,001	0,003	.
	Lavouras Temporárias	.	0,001	0,082	0,106	0,497	.	174,543	1,656	21,985
	Pastagem	9,600	0,338	11,135	2,746	86,124	0,035	87,160	8.340,006	119,600
	Cultivo de Soja	0,027	0,042	1,151	0,022	2,247	.	79,367	9,101	457,591
	<b>Ganho</b>	14,274	5,613	16,594	42,232	104,707	0,042	174,296	339,102	144,869
<b>Perda</b>	9,147	2,437	35,849	24,795	336,457	0,020	24,327	316,739	91,957	
<b>Persistência</b>	13,209	147,864	559,200	1.934,638	8.843,810	15,342	174,543	8.340,006	457,591	
<b>Varição</b>	5,127	3,176	-19,255	17,437	-231,750	0,022	149,969	22,362	52,911	

Elaboração: o autor (2022).

Matriz de Tabulação Cruzada da BHRF entre 2018 e 2019.

		2019 (km²)								
		Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Infraestrutura Urbana	Lavouras Temporárias	Pastagem	Cultivo de Soja
2018 (km²)	Áreas não Vegetadas	17,930	0,004	0,219	0,004	0,174	0,149	0,154	7,498	1,497
	Corpos Hídricos	0,551	140,796	4,713	3,674	2,786	.	0,008	0,930	0,005
	Formação Campestre	1,277	0,355	555,461	0,664	6,315	.	1,688	9,458	0,489
	Formação Florestal	0,034	1,174	1,672	1.952,477	17,159	.	0,025	6,904	0,212
	Formação Savânica	1,196	1,343	13,138	55,320	8.727.870	0,016	5,070	132,078	2,005
	Infraestrutura Urbana	0,005	.	.	.	0,003	15,378	.	0,006	0,004
	Lavouras Temporárias	0,010	0,021	0,133	0,048	0,490	0,025	297,289	1,142	50,115
	Pastagem	9,314	0,491	12,482	3,358	55,960	0,293	23,013	8.529,317	51,454
	Cultivo de Soja	0,006	0,001	0,008	0,016	0,032	.	0,180	0,066	602,793
	<b>Ganho</b>	12,394	3,389	32,364	63,083	82,919	0,483	30,139	158,082	105,781
	<b>Perda</b>	9,697	12,666	20,245	27,180	210,166	0,018	51,985	156,367	0,310
<b>Persistência</b>	17,930	140,796	555,461	1.952,477	8.727,870	15,378	297,289	8.529,317	602,793	
<b>Variação</b>	2,697	-9,278	12,118	35,904	-127,246	0,465	-21,846	1,715	105,471	

Elaboração: o autor (2022).