

## EXPANSÃO AGROPECUÁRIA E DINÂMICAS DE USO E COBERTURA DO SOLO NO PIAUÍ

*AGRICULTURAL EXPANSION AND DYNAMICS OF LAND USE AND LAND COVER IN PIAUÍ*

*EXPANSIÓN AGROPECUARIA Y DINÁMICAS DE USO Y COBERTURA DEL SUELO EN PIAUÍ*

### RESUMO

Objetiva-se analisar o crescimento de lavouras permanentes e temporárias nos biomas piauienses, apontando as alterações que esses cultivos causaram na cobertura vegetal do estado do Piauí. Para tanto, utilizaram-se os dados da Pesquisa Agrícola Municipal e as imagens de satélite do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomias), referentes ao período de 1985 a 2019. Os resultados revelaram que os plantios permanentes praticamente não alteraram a cobertura natural na área de estudo. As Savanas representam o tipo de cobertura mais suprimido, enquanto na Caatinga, as principais transformações decorreram do uso da terra para pastagens. No Cerrado, as plantações temporárias provocaram as maiores transições, sobretudo no que se refere à soja. Sugere-se, pois, intensificação no monitoramento do crescimento da sojicultura no sul do estado piauiense.

**Palavras-chave:** Agricultura; Desmatamento; Soja; Lavouras temporárias; Lavouras permanentes.

### ABSTRACT

The objective is to analyze the growth of permanent and temporary crops in Piauí biomes, pointing out the changes that these crops caused in the vegetation cover of the state of Piauí. For this purpose, data from the Municipal Agricultural Survey and satellite images from the Project for the Annual Mapping of Coverage and Use of Soil in Brazil (MapBiomias) were used, referring to the period from 1985 to 2019. The results revealed that permanent plantations practically did not alter the natural cover in the study area. The Savannas represent the most suppressed type of coverage, while in the Caatinga, the main transformations resulted from the use of the land for pastures. In the Cerrado, temporary plantations caused the greatest transitions, especially with regard to soy. Therefore, it is suggested to intensify the monitoring of soybean growth in the south of the state of Piauí.


**Keywords:** Agriculture; Deforestation; Soy; Temporary crops; Permanent crops.

### RESUMEN

El objetivo es analizar el crecimiento de los cultivos permanentes y temporales en los biomas de Piauí, señalando los cambios que estos cultivos provocaron en la cobertura vegetal del estado de Piauí. Para ello, se utilizaron datos del Encuesta Agropecuaria Municipal e imágenes satelitales del Proyecto de Mapeo Anual de Cobertura y Uso del Suelo en Brasil (MapBiomias), referentes al período de 1985 a 2019. Los resultados revelaron que las plantaciones permanentes prácticamente no alteró la cobertura natural en el área de estudio. Las Sabanas representan el tipo de cobertura más suprimida, mientras que en la Caatinga, las principales transformaciones resultaron del uso de la tierra para pastos. En el Cerrado, las plantaciones temporales provocaron las mayores transiciones, especialmente en lo que respecta a la soja. Por lo tanto, se sugiere intensificar el seguimiento del crecimiento de la soja en el sur del estado de Piauí.

**Palabras-clave:** Agricultura; Deforestación; Soja; Cultivos temporales; Cultivos permanentes.

 Emiliana Barros Cerqueira <sup>a</sup>

 Jaíra Maria Alcobaça Gomes <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal do Piauí (UFPI),  
Piauí, Brasil

DOI: 10.12957/geouerj.2023.69241

**Correspondência:** emilianacerq@gmail.com;  
jaira@ufpi.edu.br

**Recebido em:** 18 jul. 2022

**Revisado em:** 27 jul. 2022

**Aceito em:** 3 mar.2023



## INTRODUÇÃO

O crescimento da economia, baseado na monocultura de exportação, vem provocando transformações no meio ambiente, a exemplo da que ocorre no uso e cobertura do solo, geralmente provocada pela substituição de vegetação nativa por áreas de usos antrópicos, em especial, a agropecuária.

Nessa direção, o homem altera a cobertura natural do solo, substituindo a vegetação originária por alguma atividade econômica ou até mesmo transformando essas áreas em locais para moradia. Como asseveram Lambin et al. (2001), essas mudanças têm duas causas basilares: o surgimento de oportunidades econômicas e a institucionalização de políticas públicas locais e nacionais.

Por oportuno, depreende-se que as circunstâncias que determinam a substituição da cobertura natural do solo são os seus usos alternativos, a falta de proteção legal eficaz e a adoção de políticas incongruentes com a conservação ambiental. Esta pesquisa centra-se na primeira delas, nomeadamente no uso agrícola, tendo em vista que existem inúmeros estudos o apontando como determinante no processo de desmatamento, a exemplo dos desenvolvidos por Hao e Ren (2009); Verburg et al. (2014); Muringaniza e Jerie (2016); Strassburg et al. (2017); Resende et al. (2019); e Alencar et al. (2020).

Nessa perspectiva, traça-se um breve cenário da evolução agrícola, considerando as lavouras temporárias e permanentes, em um horizonte temporal de 20 anos, compreendido entre 1999 e 2019. À vista disso, avaliou-se o tamanho de áreas plantadas ou destinadas à colheita, a quantidade produzida e o rendimento da produção, por meio de dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), atinentes ao ano de 2019.

Quanto à primeira variável, o Brasil, Nordeste e Piauí apresentaram, nessa ordem, crescimentos médios de 2,42%, 0,22% e 3,18%, ao passo que a quantidade produzida aumentou, respectivamente, em 3,16%, 0,68% e 10,95%. Por sua vez, o rendimento da produção decresceu em todas as unidades territoriais citadas (-1,46%, -0,02% e -1,27%) no intervalo temporal considerado.

Diante desse panorama, constata-se que a ampliação da agricultura está ocorrendo à custa da ocupação de novas terras, já que o rendimento se mostrou declinante e houve alargamento de áreas para tal fim – situação observada em nível nacional, regional e estadual. No entanto, esses dados baseiam-se em informações médias e, portanto, podem conter disparidades quanto às especificidades de cada caso concreto, seja uma cultura específica ou determinada área geográfica.

Tendo isso em vista, a questão central deste estudo alude ao crescimento da agricultura e às implicações dessa expansão sobre as dinâmicas de uso e cobertura do solo no Piauí. Nesse contexto, promove-se a diferenciação entre cultivos permanentes e temporários, bem como do bioma no qual essa atividade é



desempenhada. Como hipótese, admite-se que a expansão da agricultura piauiense foi motivada pela ocupação de novas áreas, provocando a supressão da cobertura natural do solo. Contudo, pressupõe-se que alguns desses cultivos são mais decisivos para a ocorrência dessas transições.

Posto isso, objetiva-se analisar a crescimento das lavouras permanentes e temporárias nos biomas piauienses (Cerrado e Caatinga), apontando as alterações que esses cultivos causam na cobertura vegetal do solo, visando a indicar os usos agrícolas mais nocivos ao ecossistema.

### **Crescimento agrícola e desmatamento**

Esta seção descreve algumas pesquisas que abordam a relação entre a expansão da agricultura e a supressão de vegetações nativas no cenário internacional, nacional, como também no Cerrado e na Caatinga, biomas que ocupam o território do Piauí.

Internacionalmente, existem pesquisas, a exemplo da desenvolvida por Xystrakis, Psarras, Koutsias (2017), apontando o decréscimo da agropecuária como responsável pelo adensamento da vegetação. Da mesma forma, há estudos afirmando que o crescimento da agropecuária é basilar para a ocorrência do desmatamento, como os propostos por Hao e Ren (2009), Muringaniza e Jerie (2016), e Demissie et al. (2017). Logo, oscilações crescentes ou decrescentes na agropecuária provocam o efeito inverso na cobertura vegetal.

Em seus estudos, Xystrakis, Psarras, Koutsias (2017) mapearam as transições de cobertura e uso em Aetoloakarnania, na Grécia, de 1945 a 2009, alcançando como resultado que os locais de cultivo agrícola se expandiram no pós-guerra. Porém, a maioria das classes de uso da terra não passou por conversões, devido à sua localização em montanhas de difícil acesso. Após a década de 1960, essas lavouras foram abandonadas, acarretando o espessamento de florestas e matagais. Ademais, o decréscimo da agricultura foi provocado pela urbanização, que deslocou as populações rurais para os centros urbanos, e pelo reestabelecimento da economia, que se voltou para os setores secundário e terciário.

Em consonância com o IBGE (2020), o sensoriamento remoto e o geoprocessamento possibilitam o monitoramento dessas alterações e são essenciais para o planejamento ambiental e a formulação de políticas públicas adequadas, porquanto essas transições não acontecem de forma linear, nem são homogêneas.

Por seu turno, Hao e Ren (2009) relataram a ocorrência de supressão de áreas florestadas, de pastagens e de água na China, entre 1987 e 2006, ocasionada, preponderantemente, pela degradação do solo – resultante do pisoteio de animais e sobrepastoreio – e pelo desenvolvimento da agricultura.

Muringaniza e Jerie (2016) analisaram as modificações ocorridas no uso e cobertura do solo no Zimbábue, entre 1989 e 2012, por meio de classificação supervisionada de imagens Landsat TM, detectando



que o crescimento da agricultura foi o fator primordial para a remoção de áreas florestais, mas não foi o único: contribuíram, ainda, o corte de árvores para fabricação de lenha, o aumento populacional e as mudanças climáticas.

Demissie et al. (2017), ao examinarem as mudanças no uso e cobertura do solo na Etiópia, entre 1973 e 2015, a partir de imagens Landsat, identificaram que houve decréscimo de áreas florestais e aumento de terras agrícolas. A fim de apontar as causas dessas transformações, realizaram entrevistas e discussões em grupos focais, por meio dos quais captaram, entre outros determinantes: o crescimento populacional; as expansões de terras cultivadas; o aumento da coleta de madeira; a produção de carvão vegetal; a pastagem de gado; e algumas ações governamentais, como a construção de acampamento militar, aldeia, redistribuição de terras e fechamento de áreas de conservação florestal.

No Brasil, sobressaem-se os estudos sobre desmatamento nos biomas: Amazônia, por ser aquele que apresenta a maior área natural do País, em termos absolutos, apesar do desmatamento; Cerrado e Caatinga, por serem aqueles que revestem o estado do Piauí.

Verburg et al. (2014) avaliaram o desmatamento e a conversão de terras naturais em áreas agrícolas ao longo da rodovia BR-163, na Amazônia – que liga Cuiabá (MT), a Santarém (PA). Para tanto, desenvolveram um modelo denominado Land Use Simulator Mato Grosso – Pará (LUSMAPA), que faz simulações dinâmicas de usos da terra a partir da manipulação de algumas variáveis. Os resultados indicaram os preços das commodities – a exemplo da carne bovina e soja – e a migração de entrada como principais impulsores do desmatamento, apesar de existirem outros fatores intensificadores, como a construção de novas rodovias – visto que elas acentuam o trânsito de pessoas e atividades econômicas.

Conforme os autores supracitados, no Brasil, prevalecem duas políticas de proteção ambiental: o Código Florestal e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Atrelado a esses instrumentos, entretanto, concebe-se uma frágil capacidade institucional, com problemas no monitoramento, na fiscalização e no controle. Nessas condições, a revisão do Código Florestal, com redução da reserva legal de 80% para 60%, gera um desmatamento adicional de 41-57%, dependendo do preço da commodity. Para amenizar a situação, os autores supracitados sugerem o uso de áreas já degradadas para desenvolver o agronegócio, mediante técnicas de intensificação e recuperação do solo.

Apesar da visibilidade do bioma Amazônia, os demais não devem ser negligenciados. O Cerrado, por exemplo, vem apresentando taxas de desmatamento alarmantes e a causa primordial disso é o crescimento agropecuário, como afirmam Strassburg et al. (2017), Resende et al. (2019) e Alencar et al. (2020).



Consoante Strassburg et al. (2017), no Brasil, entre 2005 e 2013, as taxas de desmatamento da Amazônia reduziram-se a 70%. Esse fato ganhou tanta visibilidade que acabou camuflando o fenômeno inverso, verificado no Cerrado brasileiro, que superou as taxas de desmatamento anual da Amazônia em duas vezes e meia, entre 2002 e 2011. O motor dessa transformação assentou-se no alargamento da agropecuária, favorecida pela míngua proteção legal ao ecossistema.

Não obstante, os referidos autores defendem que é possível deter esse desmatamento sem prejudicar a expansão da agricultura, por meio da criação de leis e políticas adequadas. Dessa forma, propõem que o crescimento agrícola seja direcionado para áreas de pastagem, sem comprometer a produção pecuária, tornando-a mais produtiva. Entrementes, advertem para o efeito rebote, pois o aumento da produtividade traz lucros maiores, o que incita mais crescimento. Diante disso, faz-se necessário estabelecer políticas públicas oportunas visando a proteger a vegetação original remanescente e restaurar áreas críticas.

Alencar et al. (2020) classificaram imagens Landsat, sensor Operational Land Imager (OLI), utilizando os métodos de árvore de decisão empírica preliminar (EDT), árvore de decisão estatística (SDT), e aprendizado de máquina, com vistas à análise de áreas de vegetação nativa mais suscetíveis a mudanças antrópicas e naturais, entre 1985 e 2017, no Cerrado brasileiro. Constataram que a vegetação nativa do bioma reduziu, em média, 0,5% ao ano. As alterações ocorreram, especialmente, nas formações florestal e savânica, e foram decorrentes da expansão agrícola. As pastagens, por localizarem-se em maior percentual em áreas protegidas (em unidades de conservação e terras indígenas), relativamente às outras duas, sofreram as menores conversões.

Resende et al. (2019) realizaram um estudo sobre as mudanças projetadas no uso da terra. Nesse ensejo, lançaram mão de um mapa de uso da terra disponível, de 2012, e traçaram conjecturas para 2025 e 2050, mediante o uso de um modelo denominado “OTIMIZAGRO”, que se baseia em registros históricos de evolução de uso e cobertura, e nas tendências de produção agrícola, admitindo, unicamente, o desmatamento legal. Por meio desse método, estimaram uma redução esperada de vegetação nativa de, aproximadamente, 40 milhões de hectares no Cerrado brasileiro, entre 2012 e 2050, e citaram a expansão de áreas de pastagens e de soja como originadoras desse contexto. Assim, as expectativas apontam para a perda de serviços ecossistêmicos, dificultando ações de conservação futuras, tendo em vista que estabelecer unidades contíguas de planejamento consiste em uma tarefa árdua, dada a sua escassez, daí porque não devem ser adiadas, iniciando o quanto antes as estratégias de monitoramento e implantação de políticas para minimizar as alterações no uso da terra, intentando o aumento da produtividade das atividades econômicas, com a finalidade de evitar a ocupação de novos solos.



Ao analisarem a relação entre a exploração agropecuária e a degradação ambiental no Cerrado brasileiro, Cunha et al. (2008) desvelaram que os níveis de degradação foram mais baixos nos estados de Tocantins, Piauí e Maranhão, o que se explica pelo fato de constituírem as mais recentes áreas de ocupação agrícola e apresentarem pouca expressividade na atividade agropecuária, comparativamente aos demais.

Já na Caatinga, região semiárida brasileira, encontra-se um cenário semelhante, ou seja, substituição de vegetação nativa por áreas de lavouras e, sobretudo, de pastagens, como se verifica nos estudos de Coelho et al. (2014) e Ribeiro et al. (2016).

Coelho et al. (2014) ao examinarem as dinâmicas de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do riacho São Paulo (PE), entre 1991 e 2010, por meio de mapas de transição, observaram que houve supressão de áreas nativas de vegetação de Caatinga aberta para dar lugar a pastagens e agricultura, gerando uma paisagem gradativamente mais fragmentada, heterogênea e devastada.

Para Ribeiro et al. (2016), o bioma Caatinga é caracterizado por longos períodos naturais de seca, não sendo, por esse motivo, propício ao desenvolvimento da agricultura. Diante disso, a pecuária tem-se consolidado como fonte central de subsistência da população rural, sendo apontada como a razão basilar do desmatamento.

As características desses dois biomas, quanto ao uso e cobertura do solo, de acordo com Souza Jr. et al. (2020), são:

- na Caatinga, os principais usos são para agricultura, pecuária, produção de gado de pequeno porte, silvicultura não madeireira e urbanização, ao passo que a cobertura é predominantemente composta por florestas lenhosas e decíduas;
- no Cerrado, prevalecem os usos para agricultura, pecuária, reservatório de água artificial e exploração de madeira para a produção de carvão. Já a cobertura é formada, essencialmente, por Savanas, pastagens e florestas.

Consoante Alencar et al. (2020), o Cerrado possui a maior Savana da América do Sul, e é o bioma mais afetado, em termos de perdas de vegetação natural, pela expansão da agricultura no Brasil, principalmente na região do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MATOPIBA). Outro aspecto levantado pelos referidos autores diz respeito à dificuldade de classificação das alterações no uso e cobertura do solo nesse bioma, tendo em vista sua formação natural preeminente, a Savana, ser heterogênea e sazonal.

Na acepção de Buainain, Garcia e Vieira Filho (2018), a expansão agrícola para a região do Matopiba não se dará de modo uniforme nem equilibrado, uma vez que esse território não é homogêneo, apresentando



áreas com potencial para o desempenho dessa atividade e áreas sem a menor aptidão para tal fim. Aguiar e Monteiro (2005) já haviam advertido sobre a forma de ocupação do Cerrado, que estava se dando de modo acelerado e desordenado.

É oportuno salientar que existem fatos que podem melhorar a sustentabilidade da produção agrícola. Como informa Embrapa (2018), o Brasil é signatário de alguns acordos internacionais com esse intuito, destacando-se: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS – 2030); acordos e protocolos da Convenção do Clima; protocolos e programas da Convenção de Diversidade Biológica (CDB); e Tratado sobre Recursos Fitogenéticos para Alimentação e Agricultura (TIRFAA).

No entendimento de Romeiro (2014), a modernização agrícola resume-se à propagação da monocultura em grandes proporções. Isso, certamente, trouxe benefícios, como o aumento dos rendimentos e da produtividade, além de redução dos preços. Porém, esse sistema é totalmente insustentável, tendo em vista que provocou efeitos danosos ao meio ambiente. O supracitado autor observou que na Europa, as áreas com maior produção agrícola – embora não apresentem uma paisagem tão bucólica – estão gradativamente se transformando em locais mais biodiversos e agroecológicos.

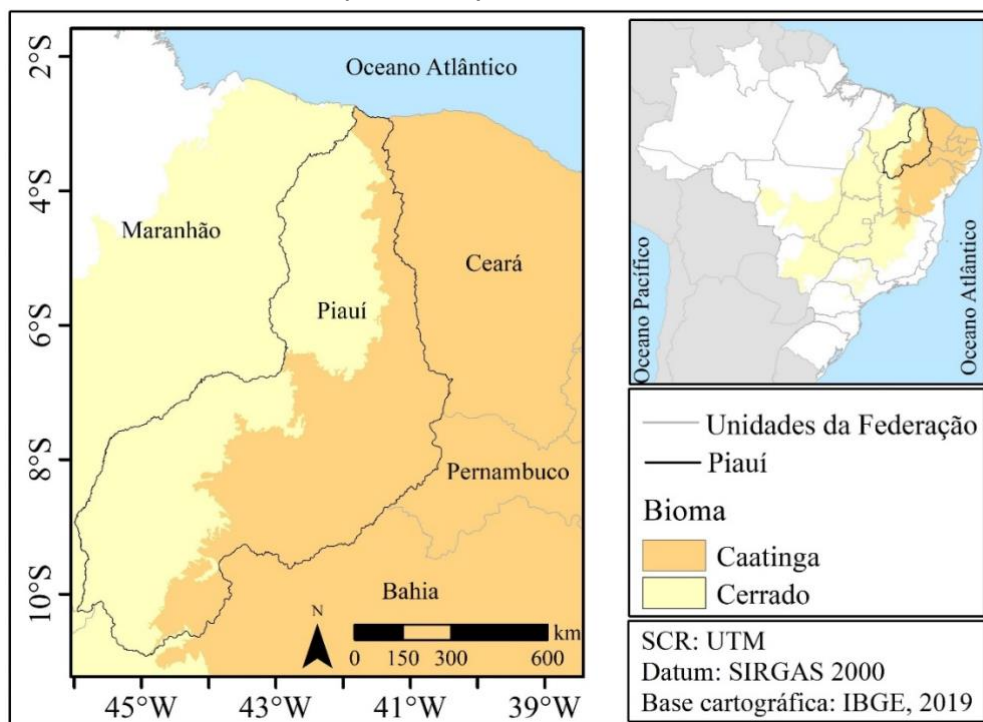
Em face do exposto, constatou-se na literatura que a intensificação da agropecuária está diretamente ligada à supressão de vegetação natural. Em alguns locais, a causa essencial desse fenômeno é o progresso da agricultura; em outros, decorre da ampliação das áreas de pastagens.

## Metodologia

Esta seção descreve a área de estudo, as fontes de informações utilizadas, as técnicas metodológicas e as análises realizadas para atingir o objetivo almejado. Tem-se como área de estudo o estado do Piauí, que engloba dois biomas: o Cerrado e a Caatinga, como mostra o Mapa 1.



**Mapa 1.** Localização da área de estudo.



Fonte: elaborado pelas autoras (2022).

No Cerrado, a cobertura do solo é constituída, predominantemente, por formações savânicas, campestre e florestal; na Caatinga, por florestas lenhosas e decíduas (MAPBIOMAS, 2020). Essa divisão do estudo por biomas é interessante, pois a realidade encontrada em cada um deles, em geral, é diferente, como se mostrou na revisão de literatura.

As fontes de dados utilizadas foram a plataforma do MapBiomas e a Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) do IBGE. Nesta última, consultaram-se informações sobre as culturas permanentes e temporárias relativas à quantidade produzida, à área plantada e/ou destinada à colheita e ao rendimento produtivo, referentes ao período de 1974 a 2019. No que concerne à primeira, empregaram-se imagens de uso e cobertura do solo, e informações sobre as estimativas de áreas de transição entre os anos de 1985 e 2019.

Cabe esclarecer alguns conceitos alusivos à PAM. De acordo com IBGE (2019), culturas permanentes são aquelas que possibilitam colheitas continuadas sem um novo plantio, ao passo que as temporárias necessitam de um novo cultivo após colhidas. Já o rendimento médio é a proporção obtida mediante a divisão da produção pela área colhida.

Adicionalmente, acessaram-se os dados de áreas antropizadas e naturais dos biomas, disponíveis no site do IBGE, atinentes ao ano de 2018, visando a mostrar o nível de degradação deles. Em seguida, analisaram-se as imagens acessadas no sítio eletrônico do MapBiomas. Sublinha-se que o MapBiomas foi lançado em 2016 (coleção 1). Nesta pesquisa, empregou-se, a versão mais atual, a coleção 5, publicada em 2020, que abrange





o período de 1985 a 2019. Reputa-se a necessidade de descrever, em linhas gerais, o processo de tratamento de imagens feito pelo MapBiomias.

O projeto opera com imagens do satélite *Landsat*, com resolução espacial de 30 metros, disponíveis no *Google Earth Engine*. A classificação pixel a pixel é realizada mediante o uso de classificadores automatizados (*machine learning*) criados e manuseados no *Google Earth Engine* (processamento na nuvem). Assim, o mapeamento é efetuado por equipes formadas por especialistas em programação, sensoriamento remoto, conservação e uso do solo. Cada equipe responsabiliza-se por um bioma e um tema transversal – pastagem, agricultura, zona costeira e área urbana (MAPBIOMAS, 2020). Destarte, o MapBiomias usa as classes de cobertura/uso apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1.** Classes de cobertura/uso do projeto MapBiomias.

Classes do MapBiomias	Nível 0	Tipo de dado
1 Floresta	Mosaico	Cobertura/uso
1.1 Floresta natural	Natural	Cobertura
1.1.1 Formação florestal		
1.1.2 Formação savânica		
1.1.3 Mangue		
1.2 Floresta plantada	Antrópico	Uso
2 Formação natural não florestal	Natural	Cobertura
2.1 Campo alagado e área pantanosa	Natural	Cobertura
2.2 Formação campestre		
2.3 Apicum		
2.4 Afloramento rochoso		
2.5 Outras formações não florestais		
3 Agropecuária	Antrópico	Uso
3.1 Pastagem	Antrópico	Uso
3.2 Agricultura	Antrópico	Uso
3.2.1 Lavoura temporária		
3.2.1.1 Soja		
3.2.1.2 Cana		
3.2.1.3 Outras		
3.2.2 Lavoura Perene		
3.3 Mosaico de agricultura e pastagem	Antrópico	Uso
4 Área não vegetada	Mosaico	Cobertura/uso
4.1 Praia e duna	Natural	Cobertura
4.2 Infraestrutura urbana	Antrópico	Uso
4.3 Mineração	Antrópico	Uso
4.4 Outras áreas não vegetadas	Mosaico	Cobertura/uso
5 Corpos d'água	Mosaico	Cobertura/uso
5.1 Rio, lago e oceano	Natural	Cobertura
5.2 Aquicultura	Antrópico	Uso

Fonte: MapBiomias (2020).

Para os fins desta pesquisa, utilizam-se as seguintes classes: do grupo 1, formação florestal e savânica (são as que ocorrem na quase totalidade dos biomas analisados); do grupo 2, formação campestre; do grupo 3, pastagem, agricultura, mosaico de agricultura e pastagem; os grupos 4 e 5 não foram detalhados, ou seja, usaram-se apenas as classes mais amplas – área não vegetada e corpos d'água.



Inicialmente, elaborou-se um mapa com todas as classes encontradas nos dois biomas. Em seguida, fez-se um mapa apenas com os usos agropecuários, especificando áreas de pastagens, culturas perenes, soja, cana-de-açúcar, outras lavouras temporárias, além de mosaicos de agricultura e pastagens. As imagens obtidas foram processadas no software ArcGIS 10.4.1. Finalmente, realizaram-se análises gráficas, tabulares e cartográficas.

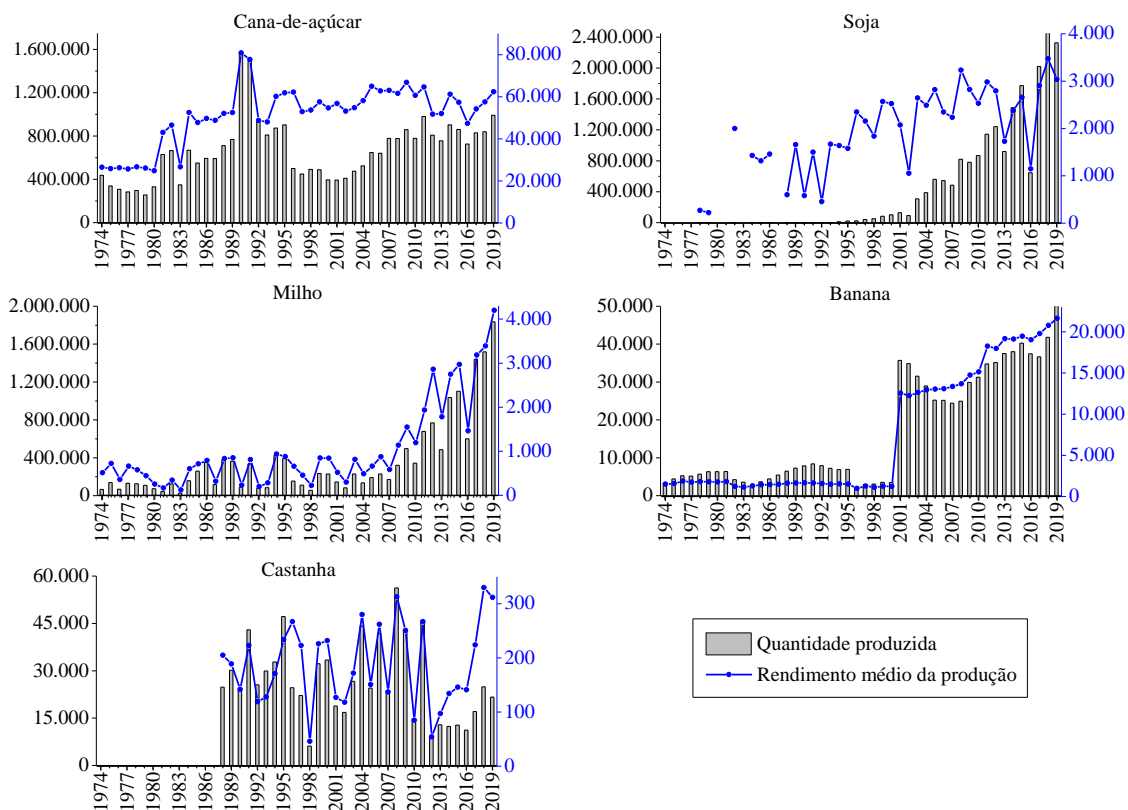
### **Expansão da agricultura e transições de uso e cobertura do solo no Cerrado e na Caatinga piauiense**

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados referentes à quantidade produzida; à área planta ou colhida; ao rendimento das lavouras temporárias e permanentes; às áreas antropizadas e naturais dos biomas brasileiros; e às modificações que ocorreram no uso e cobertura do solo piauiense, detalhando os usos agropecuários.

Dados do IBGE (2019) mostram que, em 2019, no Piauí, as lavouras permanentes somaram uma produção de 87.539 toneladas; já as temporárias, 5.883.005. Portanto, transparece a primazia desta em relação àquela na quantidade produzida. Nos cultivos temporários, destacam-se a soja, o milho e a cana-de-açúcar, respectivamente, com 39,54%, 31,20% e 16,88% do volume produzido, perfazendo, juntos, 87,62% dos plantios temporários. No que tange às lavouras permanentes, duas sobressaem-se: a banana, respondendo por 54,71% da produção perene; e a castanha de caju, com 24,71%.

Intentando dimensionar o crescimento da produção dos principais produtos, produziu-se o Gráfico 1, que mostra a evolução dessa variável no período compreendido entre 1974 e 2019. Ressalta-se que a escolha de tais produtos se baseou na representatividade econômica da produção.

**Gráfico 1.** Evolução da quantidade produzida, em toneladas, e do rendimento médio, em quilogramas por hectare, entre 1974 e 2019, no Piauí.



Nota: os dados sobre a quantidade produzida de castanha de caju só estão disponíveis a partir de 1988.

Fonte: elaborado pelas autoras, a partir de dados básicos de PAM/IBGE (2019).

O Gráfico 1 evidencia que a soja teve sua produção iniciada nos primórdios da década de 1990, no Piauí, e foi o produto com maior crescimento no período avaliado. O cultivo de milho esteve abaixo do de cana-de-açúcar em praticamente toda a série temporal, ultrapassando-a apenas em 2014. A castanha de caju foi o item que mais sofreu oscilações no volume fabricado. Ressalva-se, quanto à produção de banana, que expressou um pico de crescimento desde 2001, o que se deve ao fato de que o IBGE, ao contabilizá-la, considerava a unidade de medida “mil cachos”, e no ano referenciado, passou a computá-la em toneladas.

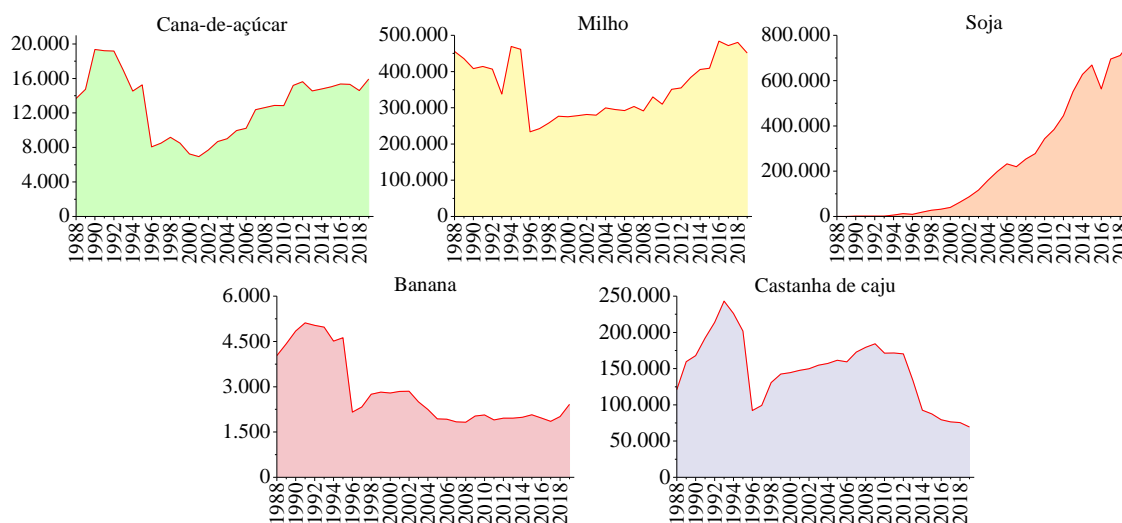
O crescimento médio anual de produção de soja foi de 180,30%, enquanto o rendimento aumentou 21,49%. Já a cana-de-açúcar apresentou, para as mesmas variáveis, respectivamente, 5,39% e 4,03%. O milho, por sua vez, exibiu resultados médios de 47,93% e 33,59%. A banana e a castanha ostentaram expansões na quantidade produzida de 23,78% e 24,50, nesta ordem, e de 21,72% e 25,96% no rendimento.

Assim, detecta-se que a maioria dessas lavouras expressiu uma elevação da produção semelhante ao incremento em seu rendimento médio. Aliás, o cultivo de soja mostrou a maior discrepância entre essas variáveis, denotando que a ampliação da produção decorreu de outros fatores. Sendo assim, faz-se necessário examinar as áreas plantadas e colhidas dessas lavouras ao longo do período estudado, a fim de averiguar as transformações ocorridas. Essas dinâmicas estão detalhadas no Gráfico 2.

O Gráfico 2 mostra que houve propagação, sobretudo, das áreas de soja, que passaram de 20 hectares, em 1988, para 766.044, em 2019. No início dessa série histórica, as áreas de cultivo de milho eram as maiores, em relação aos três cultivos temporários. Contudo, elas declinaram, em extensão, nos primeiros anos pesquisados, exibindo tendência de aumento, em seguida.

Sem embargo, em 2019, a área ocupada por essa lavoura (450.951) foi inferior, mas muito próxima da observada em 1988 (455.729). Quanto à cana-de-açúcar, a dimensão das áreas de plantio deslocou-se de 13.676 hectares, em 1988, para 15.938, em 2019.

**Gráfico 1.** Evolução da área plantada da cana, milho e soja e da área de colheita de banana e castanha de caju em hectares.



Fonte: elaborado pelas autoras, a partir de dados básicos de PAM/IBGE (2019).

Depreende-se, pela análise do Gráfico 2, que na área de colheita da banana, houve redução em praticamente metade das terras alocadas para a sua coleta (4.028, em 1988, e 2.415, em 2019). E a castanha de caju, embora tenha apresentado alargamento de sua área de colheita, nos períodos de 1988-1992 e 1996-2012, após esse último ano, mostrou-se declinante.

Com base nesses dados, deduz-se que o aumento da produção de soja é o que demanda mais cautela, levando em conta tanto o crescimento da produção quanto da área de plantio, expandindo-se em escala superior aos demais produtos. Três aspectos merecem ser enfatizados nesse processo: o econômico; o ambiental ou ecológico; e o social.

Do ponto de vista econômico, dados do MDIC (2020) desvelam que a soja é o principal produto da pauta de exportações piauienses. Sob o ponto de vista social, a agroindústria de soja gerou custos, como a exclusão de pequenos produtores da cadeia de abastecimento, a expropriação de camponeses e indígenas, a exclusão de partes interessadas na tomada de decisão, já que o poder fica cada vez mais concentrado nos grandes produtores e a distribuição desigual dos resultados dessa atividade (GARRETT; RAUSCH, 2015; VEGA, 2017; LOPES; LIMA; REIS, 2021).

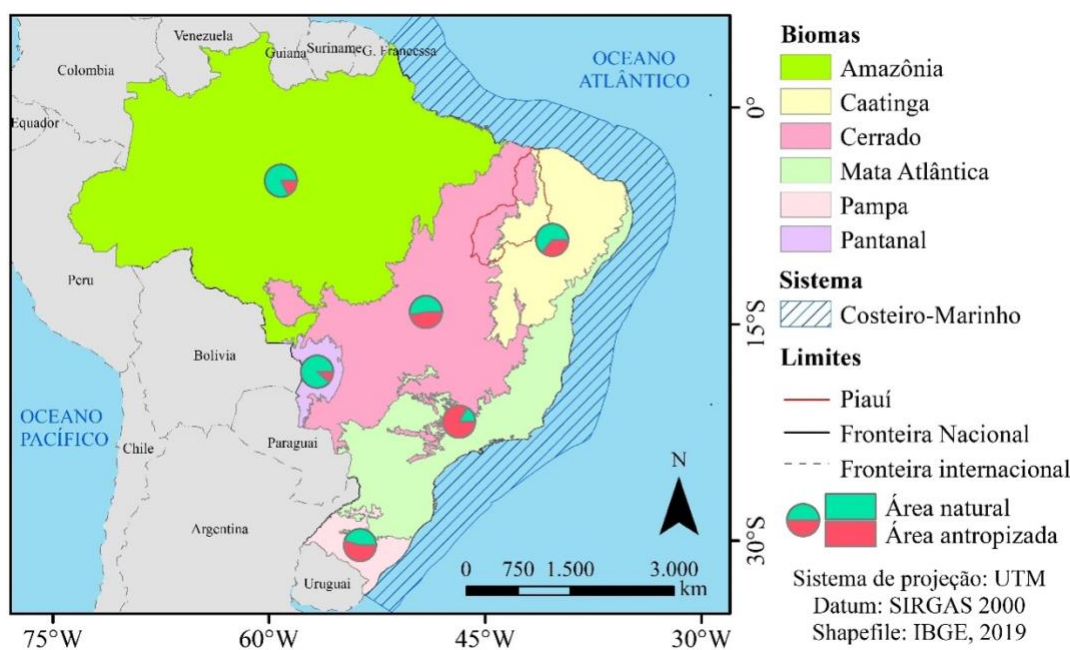
No plano ambiental, contribuiu para a conversão em larga escala de vegetação natural e pastagens em agricultura, promovendo a perda de biodiversidade e causando a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, avolumando o aquecimento global, sem falar da elevação do uso de agrotóxicos (GARRETT; RAUSCH, 2015; VEGA, 2017).

Releva-se, segundo Murty et al. (2002), que a transição de florestas em áreas agrícolas ocasiona perdas de carbono do solo, em oposição, as conversões em pastagens, não. Isso foi o que os referidos autores observaram no geral, mas reconhecem que essa situação pode ser diferente, dependendo de algumas particularidades, como a utilização de fertilizante, retenção ou remoção de resíduos de plantas.

Diante disso, o crescimento da soja deve ser visto de forma preocupante porque pode causar o desmatamento de áreas naturais. À vista disso, é crucial examinar as mudanças por trás desse processo, quanto ao uso e à ocupação do solo. Sabe-se, todavia, que essas modificações apresentam semelhanças, de acordo com o tipo de bioma em que se localizam.

Nesse contexto, expõem-se os biomas brasileiros no Mapa 2, contemplando as proporções de áreas naturais e antrópicas de cada um deles, com o intuito apontar o seu nível de desmatamento. Isso fornece um panorama prévio do nível de cobertura natural dos biomas brasileiros, destacando aqueles que sofreram as maiores transformações provocadas pelo uso antrópico, principalmente decorrentes da atividade agropecuária.

**Mapa 2.** Biomas brasileiros e percentual de áreas naturais e antropizadas em 2018.

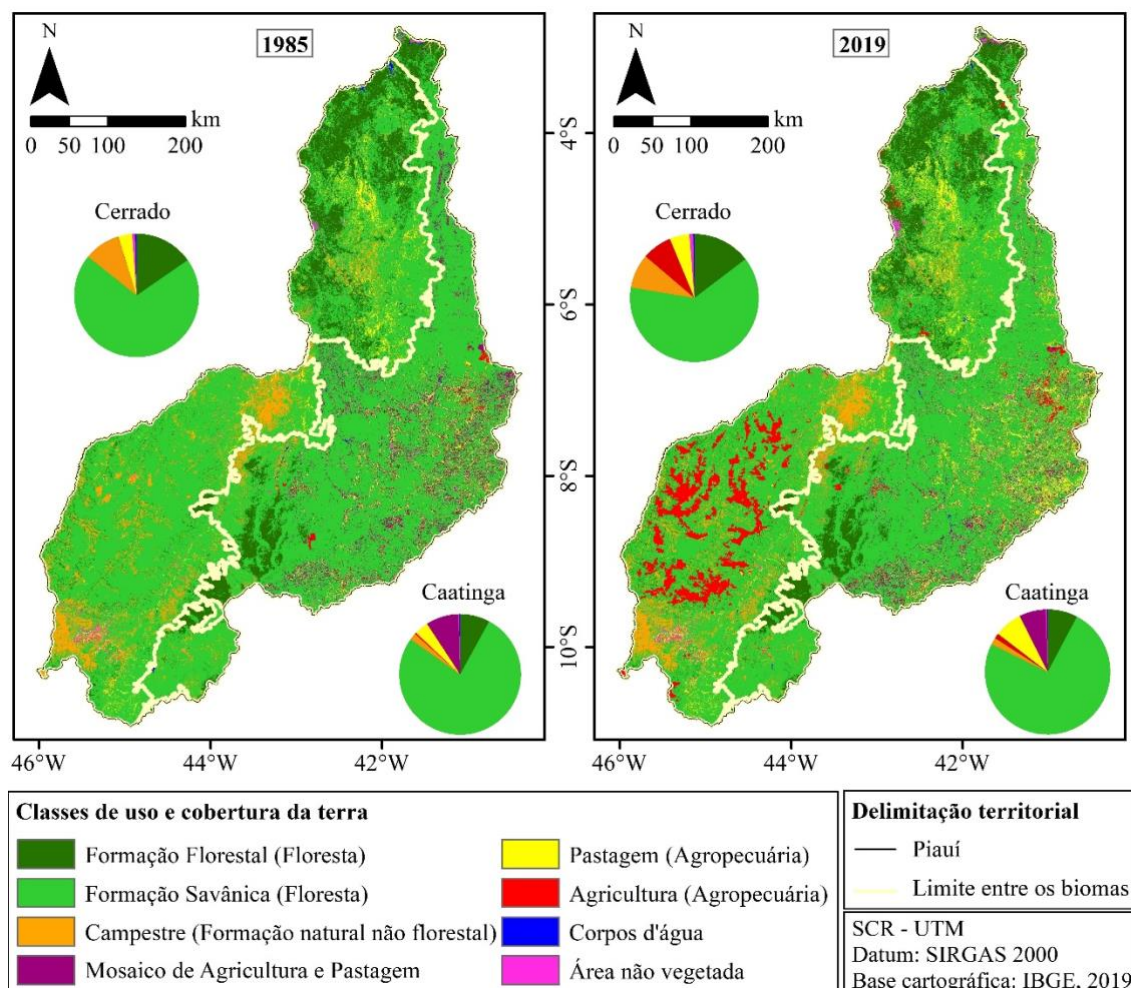


A partir do Mapa 2, constata-se que em 2018, apenas dois biomas revelaram área antropizada maior que a natural, com, respectivamente, 83,31% e 54,46% de áreas antropizadas. São eles: Mata Atlântica e Pampa. Esses biomas englobam as Regiões Sudeste e Sul, que são as mais desenvolvidas do País. O Piauí está inserido nos biomas Cerrado e Caatinga, que possuem, simultaneamente, 52,66% e 63,84% de área natural.

No entanto, é necessário fazer uma ressalva em relação aos resultados apontados no parágrafo anterior, pois a existência de produções consorciadas entre a agropecuária e as florestas nativas podem passar uma ideia inexata, denotando a existência de muitas áreas sem uso, o que não é verdade.

Analisando-se os biomas Cerrado e Caatinga, em sua área de abrangência no Piauí, observa-se, como ilustra o Mapa 3, as transformações ocorridas no uso e cobertura do solo piauiense, conforme o bioma, comparando os anos de 1985 e 2019 – primeiro e último ano disponíveis na plataforma MapBiomas.

**Mapa 3.** Uso e cobertura do solo no Piauí em 1985 e 2019.



Fonte: elaborado pelas autoras, a partir de dados básicos do Projeto MapBiomas, coleção 5 (2020).





De acordo com o Mapa 3, as modificações no uso e cobertura do solo no Piauí foram mais perceptíveis no Cerrado do que na Caatinga. Nesta, cerca de 524.723 hectares de áreas naturais foram convertidas em antrópicas, enquanto naquele, 1.195.505. A formação savânica foi o tipo de cobertura mais suprimido, particularmente, no Cerrado. Dentre os usos antrópicos, a agricultura foi o que provocou alterações mais substanciais na cobertura natural.

No Cerrado, testemunhou-se a ampliação de usos do solo para agricultura, pastagem e áreas não vegetadas (que incluem infraestrutura urbana, mineração, praias e dunas), respectivamente, em 987.029, 177.154 e 24.434 hectares. Portanto, as práticas agrícolas sobressaíram-se, particularmente, na região sul do estado, que tem notabilidade na produção de soja.

Na Caatinga, similarmente, avultaram-se as mesmas três classes de usos, mas em proporções diferentes. As pastagens expandiram-se em maior quantidade, alastrando-se em mais 409 749 hectares. Em seguida, a agricultura somou mais 109 132 hectares, em relação a 1985. Já as áreas não vegetadas cresceram mais 13 662 hectares. As conversões em pastagens ocorreram, essencialmente, mediante supressão de vegetação savânica em ambos os biomas.

Esses resultados corroboram a tese já consolidada na literatura de que a agricultura é a atividade que provoca as maiores supressões de vegetações nativas no Cerrado, como apontado por Strassburg et al. (2017) e Alencar et al. (2020). Em contrapartida, na Caatinga, essa responsabilidade recai sobre as pastagens, patenteando o corolário de Ribeiro et al. (2016).

Com a finalidade de quantificar as transições entre as classes de uso e cobertura do solo nos dois biomas piauienses, particularmente as conversões em uso agrícola, expõem-se os dados da Tabela 1.

Valida-se, diante do disposto na Tabela 1, que a agricultura se alargou no Cerrado piauiense entre 1985 e 1990, principalmente em áreas não vegetadas. A partir da década de 1990, essa dinâmica ocorreu, majoritariamente, à custa da formação savânica, chegando a transformar mais de 409 mil hectares, entre 2010 e 2019. Por outro lado, na Caatinga houve, especialmente, transição de áreas de pastagem para agrícolas, embora também tenha transcorrido perda relativamente considerável de vegetação savânica em detrimento da agricultura.

Da Tabela 1, destaca-se que o uso originário agricultura (coluna 1, linhas 8 e 17) representa o percentual de área agrícola que não foi convertido, ou seja, no ano inicial, era agricultura e permaneceu assim no ano final. Exemplificando, na coluna 2, transição de 1985 a 1990, tem-se 58,8% provenientes da agricultura, significando que do somatório de todas as áreas agrícolas de 1990, 6.175 hectares já eram terras destinadas à agricultura, em 1985.





**Tabela 1.** Área e percentual de área convertida para agricultura de cada uso/cobertura do solo.

Uso / cobertura originário	1985 - 1990		1990 - 2000		2000 - 2010		2010 - 2019	
	Área	%	Área	%	Área	%	Área	%
<b>Cerrado</b>								
Formação Florestal	146	1,4	1 329	1,5	889	0,2	10 353	1,1
			(+1 183)	(+0,1)	(-440)	(-1,3)	(+9 464)	(+0,9)
Formação Savânica	580	5,5	55 304	64,3	242 022	60,5	409 846	42,3
			(+54 724)	(+58,8)	(+186 718)	(-3,8)	(+167 824)	(-18,2)
Campestre	656	6,2	14 129	16,4	47 180	11,8	64 294	6,6
			(+13 473)	(+10,2)	(+33 051)	(-4,6)	(+17 114)	(-5,2)
Pastagem	379	3,6	4 484	5,2	23 759	5,9	65 107	6,7
			(+4 105)	(+1,6)	(+19 275)	(+0,7)	(+41 348)	(+0,8)
Agricultura	6 175	58,8	9 945	11,6	77 158	19,3	406 834	42,0
			(+3 770)	(-47,2)	(+67 213)	(+7,7)	(+329 676)	(+22,7)
Corpos d'água	4	0,0	1	0,0	1	0,0	10	0,0
			(-3)	-	-	-	(+9)	-
Áreas não vegetadas	2 556	24,4	764	0,9	8 811	2,2	11 486	1,2
			(-1 792)	(-23,5)	(+8 047)	(+1,3)	(+2 675)	(-1,0)
<b>Caatinga</b>								
Formação Florestal	633	1,2	352	0,4	98	0,1	3 841	2,7
			(-281)	(-0,8)	(-254)	(-0,3)	(+3 743)	(+2,6)
Formação Savânica	4 370	8,0	11 918	13,8	8 095	8,7	18 427	13,0
			(+7 548)	(+5,8)	(-3 823)	(-5,1)	(+10 332)	(+4,3)
Campestre	60	0,1	504	0,6	446	0,5	2 072	1,5
			(+444)	(+0,5)	(-58)	(-0,1)	(+1 626)	(+1,0)
Mosaico <sup>1</sup>	1 405	2,6	9 552	11,1	5 788	6,2	11 307	8,0
			(+8 147)	(+8,5)	(-3 764)	(-4,9)	(+5 519)	(+1,8)
Pastagem	4 538	8,3	27 990	32,4	17 724	19,1	30 431	21,4
			(+23 452)	(+24,1)	(-10 266)	(-13,3)	(+12 707)	(+2,3)
Agricultura	43 543	79,8	35 952	41,6	60 791	65,4	75 386	53,0
			(-7 591)	(-38,2)	(+24 839)	(+23,8)	(+14 595)	(-12,4)
Corpos d'água	0	0,0	7	0,0	0	0,0	159	0,1
			(+7)	-	(-7)	-	(+159)	(+0,1)
Áreas não vegetadas	26	0,0	130	0,1	24	0,0	486	0,3
			(+104)	(+0,1)	(-106)	(-0,1)	(+462)	(+0,3)

Notas: Sinal convencional utilizado:

0,0 Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de dado numérico originalmente positivo.

- Dado numérico igual a zero não resultante de arredondamento.

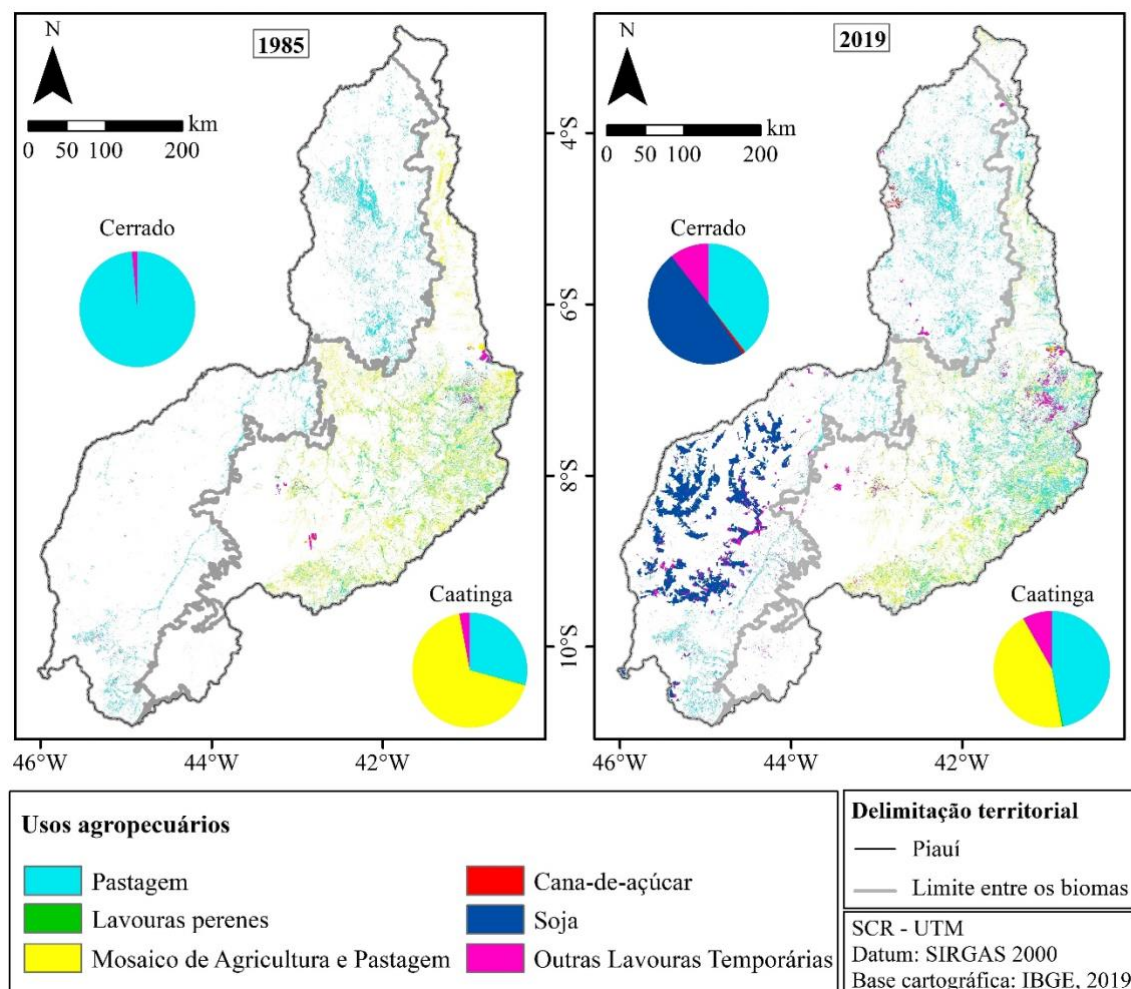
(1) Mosaico de agricultura e pastagem.

Os dados entre parênteses indicam o crescimento/decrescimento em relação ao período anterior.

Fonte: elaborado pelas autoras, a partir de dados básicos do Projeto MapBiomias, coleção 5 (2020).

Visando a detalhar os usos agropecuários do solo piauiense, criou-se o Mapa 4, em conformidade com as classes disponibilizadas na plataforma MapBiomias – culturas perenes, pastagens, soja, cana-de-açúcar e outras lavouras temporárias – em 1985 e 2019, alusivas aos dois biomas, que são as classes apresentadas nos dados disponibilizados na plataforma.

**Mapa 4.** Usos agropecuários do solo no Piauí em 1985 e 2019.



Fonte: elaborado pelas autoras, a partir de dados básicos do Projeto MapBiomas, coleção 5 (2020).

O Mapa 4 comprova a evolução do uso agropecuário do solo piauiense, mediante a classificação realizada pelo Projeto MapBiomas. Os cultivos perenes têm pouca extensão nos dois biomas e praticamente não alteraram a cobertura nativa. No Cerrado, em 1985, ocupavam uma área de 2.249 hectares e, em 2019, mais de 30 anos depois, 2.342 hectares. Na Caatinga, a alteração foi maior: era de 17.283 e elevou-se para 67.518 hectares. Dados do IBGE (2019) dão conta de que as maiores produções de lavouras permanentes são encontradas nos municípios de Pio IX, Cocal e Cocal dos Alves (Caatinga).

A cana-de-açúcar modificou a cobertura do solo piauiense, sobretudo em três municípios: União, José de Freitas e Teresina. Aliás, consoante as informações do IBGE (2019), esses são os maiores produtores estaduais dessa cultura.

Na classe *outras lavouras temporárias*, frisa-se o cultivo do milho. No Cerrado, as transições observadas nessa classe ocorreram em municípios que têm produção elevada desse grão, cujos maiores produtores são



Baixa Grande do Ribeiro, Uruçuí e Ribeiro Gonçalves, localizados na região sul do estado, segundo o IBGE (2019).

Na Caatinga, em ambos os anos, três classes de usos agropecuários são predominantes, quais sejam as pastagens, os mosaicos de agricultura e pastagens, e outras lavouras temporárias. A principal alteração ocorreu em virtude do alargamento das áreas de pastagens.

No Cerrado, em 1985, os usos agropecuários da terra compreendiam, basicamente, as pastagens. Em 2019, a soja passou a englobar quase 50% desses usos, promovendo as transformações mais significativas na cobertura natural do Piauí.

Como revelam Lopes, Lima e Reis (2021), a riqueza natural das Savanas está sendo desmatada em função da monocultura de soja, sob a justificativa de que conduz ao crescimento econômico. Mas, na verdade, essa dinâmica esconde graves questões sociais e ambientais, a exemplo da degradação ambiental, com perda da diversidade vegetal para dar lugar a uma única cultura.

Desse modo, verificou-se que no Piauí, a expansão agrícola de algumas culturas foi provocada pelo aumento da produtividade, como é o caso das lavouras perenes e da cana-de-açúcar, que não apresentaram alterações visíveis nas imagens analisadas no período temporal analisado. Todavia, a comparação realizada no Gráfico 2 mostrou que o crescimento da produção ocorreu de acordo com o aumento do rendimento médio.

Já em outras lavouras, tal crescimento foi motivado pela ampliação da área de exploração, a exemplo do milho e, particularmente, da soja. Esta respondeu pelas maiores áreas de transição no estado. Suprimiu-se, para tanto, singularmente, as formações savânicas. Constatou-se, ainda, que o bioma Cerrado foi mais afetado pelo alargamento da agricultura, ao passo que o Cerrado, pela pastagem.

## CONCLUSÕES

É inegável o efeito que a expansão da atividade agropecuária vem provocando na cobertura do solo. Sabe-se que essa ação apresenta peculiaridades, dependendo do bioma em análise. No Piauí, a supressão de vegetações nativas mostrou-se preponderante, mormente em razão do crescimento da atividade agropecuária.

Isso posto, constataram-se dois cenários distintos, em consonância com o bioma analisado. No Cerrado, a expansão da cana-de-açúcar foi provocada pelo aumento do rendimento da produção, enquanto os cultivos de milho e, sobretudo, de soja, ocorreram pelo aumento da área de exploração. Por outro lado, na Caatinga, o desmatamento manifestou-se como decorrência do crescimento das áreas de pastagens, tendo em vista que



esse bioma não apresenta condições de clima e solo propícias ao desenvolvimento de culturas agrícolas, pois é acometido por secas periódicas.

As lavouras perenes, como a banana e a castanha quase não alteraram a cobertura do solo, denotando que o alargamento da produção decorreu de melhorias no rendimento produtivo. Sendo assim, o principal vetor de transformação no uso e cobertura do solo piauiense foi o cultivo de soja no Cerrado e de pastagens na Caatinga.

Ademais, o principal tipo de cobertura suprimido foi a formação savânica, típica do Cerrado, seguida das formações campestres. Também houve transição de áreas de pastagens para agrícolas. Esta última conversão, inclusive, vem sendo apontada como solução para mitigar o desmatamento de vegetações naturais.

Ante o exposto, conclui-se que a soja, em particular, demanda cuidados ao ampliar sua produção, pois se por um lado, traz benefícios para o crescimento econômico do estado, configurando-se como um dos principais elementos da pauta de exportações piauienses, por outro, vem provocando alterações na cobertura vegetal da terra.

Por conseguinte, a expansão da produção de soja deve levar em consideração dois aspectos: o econômico e o ambiental. Uma das formas de minimizar esse efeito negativo ao meio ambiente consiste em adotar práticas que visem ao incremento do rendimento da produção, contrariamente à ocupação de novas áreas.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, T. J. A.; MONTEIRO, M. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do Cerrado piauiense. **Ambiente & Sociedade**, v. 8, n. 2, 2005.
- ALENCAR, A., et al. Mapping three decades of changes in the brazilian savanna native vegetation using landsat data processed in the Google Earth Engine platform. **Remote Sensing**, v. 12, n. 924, p. 1-23, 2020.
- BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. A economia agropecuária do Matopiba. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 26, n. 2, 2018.
- COELHO, V. H. R., et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.
- CUNHA, N. R. da S. et al. A Intensidade da Exploração Agropecuária como Indicador da Degradação Ambiental na Região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, n. 2, 2008.
- DEMISSIE, F.; YESHITILAA, K.; KINDUC, M.; SCHNEIDER, T. Land use/Land cover changes and their causes in Libokemkem District of South Gonder, Ethiopia. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 8, p. 224-230, 2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.



- GARRETT, R. D.; RAUSCH, L. L. Green for gold: social and ecological tradeoffs influencing the sustainability of the Brazilian soy industry. **The Journal of Peasant Studies**, v. 43, n. 2, p. 461-493, 2015.
- HAO, H.; REN, Z. Land use/land cover change (LUCC) and eco-environment response to LUCC in Farming-Pastoral Zone, China. **Agricultural Sciences in China**, v. 8, n. 1, p. 91-97, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil: 2016 – 2018**. Rio de Janeiro, 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, 2019.
- LAMBIN, E. F., et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, v. 11, p. 261-269, 2001.
- LOPES, G. R.; LIMA, M. G. B.; REIS, T. N. P. Maldevelopment revisited: Inclusiveness and social impacts of soy expansion over Brazil's Cerrado in Matopiba. **World Development** v. 139, p. 1-17, 2021.
- MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC. **Balança comercial piauiense**. Acesso em: 22 dez. 2020. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br>, 2020.
- MURINGANIZA, K. C. R.; JERIE, S. Land use and land cover changes in the comercial farming region of Chiredzi District, Zimbabwe. **Eastern Africa Social Science Research Review**, v. 32, n. 1, p. 119-142, 2016.
- MURTY, D., et al. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbono and nitrogen? A review of the literature. **Global Change Biology**, v. 8, p. 105-123, 2002.
- PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em: 22 dez. 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org>, 2020.
- RESENDE, F. M., et al. Consequences of delaying actions for safeguarding ecosystem services in the Brazilian Cerrado. **Biological Conservation**, v. 234, p. 90-99, 2019.
- RIBEIRO, K., et al. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. **Science of the Total Environment**, v. 571, p. 1048-1057, 2016.
- ROMEIRO, A. R. O agronegócio será ecológico. In: BUAINAIN, A. M. et al. (Eds.). **O mundo rural no Brasil do século XXI: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. 1. Ed. Brasília-DF: Embrapa, 2014.
- SOUZA JR., C. M., et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 2735, p. 1-27, 2020.
- STRASSBURG, B. B. N., et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 99, p. 1-3, 2017.
- VEGA, G. C. (coord.) **Impactos da expansão do agronegócio no MATOPIBA: comunidades e meio ambiente**. Rio de Janeiro, 2017.
- VERBURG, A. R.; RODRIGUES FILHO, S.; LINDOSO, D.; DEBORTOLI, N.; LITRE, G.; BURSZTYN, M. The impact of commodity price and conservation policy scenarios on deforestation and agricultural land use in a frontier area within the Amazon. **Land Use Policy**, v. 37, p. 14-26, 2014.
- XYSTRAKIS, F.; PSARRAS, T; KOUTSIAS, N. A process-based land use/land cover change assessment on a mountainous area of Greece during 1945–2009: Signs of socio-economic drivers. **Science of the Total Environment**, 587–588, p. 360–370, 2017.