

EXPANSÃO E INTENSIFICAÇÃO DA AGROPECUÁRIA NO CERRADO

Taya Cristo Parreiras

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências.
tayacristo1@gmail.com

Édson Luis Bolfe

Embrapa Agricultura Digital, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
edson.bolfe@embrapa.br

RESUMO

O cenário socioeconômico, ambiental, e as políticas públicas são as principais forças motrizes da dinâmica de uso e ocupação das terras. Nos últimos 50 anos, esses fatores levaram a savana mais rica em biodiversidade do mundo, o Cerrado, a se tornar a principal região agrícola e o maior produtor de alimentos e *commodities* do país. Entretanto, a expansão horizontal do modelo de agropecuária tradicional tem pressionado e degradado os recursos naturais (solo, vegetação e água). Diante disso, este artigo objetiva analisar o histórico recente de ocupação e expansão agropecuária nesse bioma, apresentando novos modelos para intensificação e diversificação agrícola, evidenciando o papel dos produtores rurais, do mercado consumidor e, principalmente, da pesquisa e das políticas públicas para combate às mudanças climáticas e promoção de uma agricultura ambientalmente mais responsável e sustentável. Por fim, é abordado o papel do sensoriamento remoto no monitoramento, planejamento e gestão da agricultura no século XXI.

Palavras-chave: Dinâmica. Diversificação. Agricultura. Sensoriamento Remoto.

FACTORS OF EXPANSION AND DYNAMIZATION OF AGRICULTURE IN CERRADO

ABSTRACT

Socioeconomic and environmental scenario and public policies have always been driving forces in the dynamics of land use and occupation. Over the last 50 years, these factors have led the world's most biodiverse savannah, the Cerrado, to become the leading agricultural frontier and Brazil's largest producer of food and commodities. However, deforestation and land degradation, caused by the horizontal expansion of a model of intensive natural resources agriculture, which reveals clear signs of unsustainability, harms the country from a socioeconomic and environmental point of view. Therefore, in this paper, the history of occupation and agricultural expansion of the Cerrado is analyzed and new models for the intensification and diversification of the agricultural dynamics are presented, highlighting the role of producers, the consumer market and, mainly, research and public policies to combat climate change and promote environmentally responsible and sustainable agriculture. Finally, the role of remote sensing in the monitoring, planning, and management of agriculture in the 21st century is addressed.

Keywords: Dynamics. Diversification. Agriculture. Remote Sensing.

INTRODUÇÃO

A população mundial, que atingiu 8 bilhões em 2022, embora esteja aumentando na menor taxa desde a década de 1950, deverá atingir 10,4 bilhões em 2080 (ONU, 2022), um incremento de cerca 30%, gerando pressão adicional nos recursos naturais e na capacidade produtiva da agricultura mundial. Em uma meta-análise de 57 metodologias de projeção do aumento de demanda de alimentos entre 2010 e 2050, Van Dijk et al. (2021) observaram que, mesmo em cenários onde as mudanças climáticas não são consideradas, espera-se um crescimento entre 35% e 56%, influenciado pelo crescimento populacional, da renda, e pelo aumento de até 20% no consumo *per capita*. Embora as mudanças climáticas não tenham demonstrado papel estatisticamente significativo na demanda total por alimentos, nos cenários analisados, elas podem ter efeito maior no aumento da população sob risco de fome (até +30%).

Para Van Dijk et al. (2021), uma importante limitação dessas projeções, inclusive aquelas realizadas pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), reside no fato de que, em geral, elas são desenvolvidas considerando cenários “*business-as-usual*”, ou seja, com mercado em condições de normalidade. A pandemia de COVID-19, por exemplo, tem provocado alterações socioeconômicas profundas e duradouras, consequentemente impactando a dinâmica de oferta e demanda de alimentos. No Brasil, como mostra o II VIGISAN (Inquérito Nacional sobre Insegurança Alimentar no Contexto da Pandemia Covid-19 no Brasil), a insegurança alimentar (IA) voltou a ser um problema social de dimensão nacional, e a IA grave (fome) já atinge 15,5% da população.

O Cerrado, segundo maior bioma do Brasil, com aproximadamente 204 milhões de hectares, se tornou, a partir da década de 1970, um pilar da agricultura brasileira, adquirindo extrema relevância no comércio mundial de alimentos e, portanto, se tornando uma região estratégica para a garantia da segurança alimentar nacional e mundial a longo prazo (SANTANA et al., 2020). Entretanto, o aumento da produção de alimentos não poderá ser realizado por meio da expansão horizontal, com supressão da vegetação nativa, mas com intensificação e diversificação, para frear o desmatamento, recuperar áreas degradadas, racionalizar e otimizar o uso de insumos, o que implica uma agricultura intensiva em conhecimento e tecnologia (ASSAD et al., 2020; FERRAZ et al., 2021).

Neste artigo, a importância adquirida pelo Cerrado no cenário da agricultura do Brasil é analisada pela ótica da dinâmica agrícola, considerando os processos de intensificação e diversificação como pilares fundamentais para sustentabilidade e valorização da produção agrícola nacional. Inicialmente, apresenta-se um histórico recente da evolução da dinâmica da agricultura no Bioma, principalmente a partir da década de 1970, com destaque para o papel das políticas públicas. Em seguida, analisou-se como sistemas de produção vegetal e animal que visem intensificação e diversificação podem beneficiar a agricultura, do ponto de vista econômico e ecológico, impactando positivamente na produtividade e na melhoria da capacidade do ambiente na provisão de serviços ecossistêmicos no Cerrado. Por fim, é realizada uma breve discussão do papel do sensoriamento remoto para o monitoramento dessa dinâmica agrícola.

DENSENVOLVIMENTO

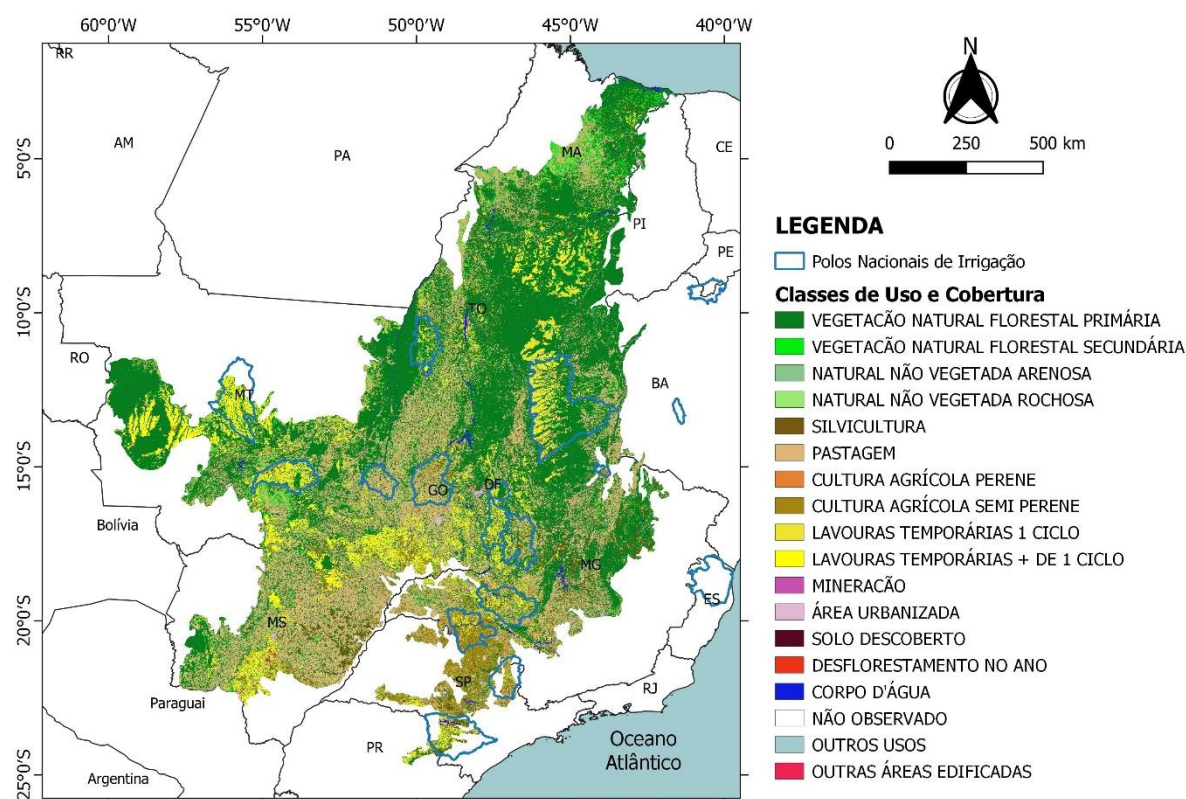
Características ambientais do Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando cerca de 24% do território brasileiro. Considerado um *hotspot* de biodiversidade, o bioma abriga cerca de 10 mil espécies vegetais, além de milhares de espécies de animais, como mamíferos (159), aves (837), peixes (1.200), etc (AQUINO e OLIVEIRA, 2006). Entretanto, apenas cerca de 3% de seu território é destinado exclusivamente à conservação (SPERA, 2017).

Trata-se de bioma heterogêneo, composto por 11 ecorregiões com diferentes condições edafoclimáticas e geomorfológicas. O volume de precipitação anual média, acumulada principalmente durante a estação chuvosa (setembro a março), varia entre 650 mm e 2.550 mm, em distribuição desigual que aumenta do Leste para o Oeste, da Caatinga em direção à Amazônia. A temperatura média anual, fortemente influenciada pelo fator latitude, aumenta do Sul para o Norte, variando entre 15,6 °C e 28,1 °C. (SANO et al., 2020).

O tipo de solo mais abundante é o Latossolo, que ocupa cerca de 44% do Bioma de Norte a Sul (SANO et al., 2020). Embora os latossolos apresentem restrições do ponto de vista químico, sua estrutura física permite o bom desenvolvimento das plantas, e a aplicação de corretivos e fertilizantes os tornam solos de boa capacidade produtiva, aptos à agricultura de larga escala (SILVA et al., 2021). A Figura 1 ilustra a distribuição do bioma no país, das suas classes de uso e ocupação de acordo com o mais recente mapeamento do TerraClass Cerrados, em 2018 (INPE, 2018).

Figura 1. Localização e distribuição das classes de uso e cobertura da terra do Cerrado, em 2018, e dos polos nacionais de irrigação.



Fontes: INPE, 2018; ANA, 2021.

Fatores de ocupação e expansão da agropecuária no Cerrado

As condições edafoclimáticas, o relevo de baixa declividade e o baixo preço das terras foram fatores de atração de produtores rurais, principalmente sulistas, para o Cerrado a partir da década de 1970. Enquanto na região Sul as terras eram escassas e caras, o Centro-Oeste do país era ocupado principalmente pela pecuária de baixa produtividade e pela agricultura de subsistência, o que se refletia num vazio demográfico (CONTINI et al., 2020). Entre 1970 e 2010, a densidade demográfica da região aumentou 300%, passando de 2,88 hab/km² para 8,75 hab/km² (IBGE, 2010).

Políticas públicas implementadas pelo governo federal levaram o Cerrado a se tornar peça-chave na produção de alimentos e *commodities* em nível nacional e internacional, com forte presença da tecnologia e da pesquisa (FERRAZ et al., 2021). Em 1975 e 1984, o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (Polocentro) foi um dos principais instrumentos para expansão da fronteira agrícola, sendo pautado no

financiamento em infraestrutura (estradas, armazéns, assistência técnica e extensão rural, escolas, entre outros), na pesquisa e no crédito rural, além de subsídios financeiros (CONTINI et al., 2020; SILVA et al., 2021).

No âmbito do Polocentro e do desenvolvimento regional do Cerrado e do Centro-Oeste, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e as Empresas de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), tiveram papel fundamental da expansão e modernização da agricultura nacional, gerando e difundindo conhecimento e tecnologias que trouxeram vantagens competitivas para a agricultura nacional (CONTINI et al., 2020). Técnicas de plantio direto na palha, controle biológico, manejo integrado de pragas (MIP), Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), e o lançamento de cultivares geneticamente modificadas, mais adaptadas às condições tropicais e mais resistentes a pragas e doenças, fizeram parte de um pacote de “tropicalização” e modernização da agricultura nacional (FERRAZ et al., 2021).

Além do Polocentro, Contini et al. (2020) apontam que o Programa Nipo-Brasileiro de Desenvolvimento Agrícola da Região dos Cerrados (Prodecer), de 1974, a Política de Garantia de Preços Mínimos (PGPM), de 1966, políticas de incentivo ao crédito rural, além de programas de colonização pública, via Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incrá), e de colonização privada, via comercialização de grandes extensões de terra com a iniciativa privada, foram bases para a expansão agrícola da região na chamada fase de “modernização conservadora”, até 1994.

Na década de 1980, com um ambiente grande instabilidade financeira e o descontrole da inflação, rebanho e terra representavam reserva de capital, não havendo estímulos para maiores investimentos em tecnologia de produção. Contudo, com a melhora fiscal e o controle da hiperinflação geradas pelo Plano Real, em conjunto com políticas menos intervencionistas, maior abertura da economia nacional e diversificação das fontes de financiamento, a agricultura ganhou em protagonismo, consolidando a transição do Brasil ao topo da exportação mundial de alimentos e *commodities* agrícolas (CONTINI et al., 2020).

O Cerrado foi uma região estratégica para o sucesso da agricultura brasileira a partir das políticas agrícolas e de desenvolvimento regional, tornando-se o principal ator da agropecuária nacional, principalmente na produção de grãos e carne bovina. Entre 1975

e 2015, houve um aumento significativo da sua participação na produção nacional de soja (de 5% para 54%), de milho (de 20% para 49%), de algodão (de 22% para 98%) e de cana-de-açúcar (de 25% para 49%) (SANTANA et al., 2020), período no qual o país aumentou a sua produtividade em cerca de 500% (BOLFE et al., 2020).

Embora a expansão e a intensificação da agricultura no Cerrado tenham gerados ganhos socioeconômicos indiscutíveis, até 1990, cerca de 50% da vegetação nativa do Cerrado havia sido suprimida. Esse modelo de expansão horizontal, com forte dependência de conversão de áreas de vegetação nativa, altamente exigente em energia e insumos, provocou impactos ambientais como erosão do solo, assoreamento de corpos hídricos e escassez de recursos hídricos, que promoveram a degradação, abandono e subutilização de áreas exauridas (FERRAZ et al., 2021).

Diante disso, nas duas últimas décadas, com o agravamento da crise ambiental, as importantes mudanças nos padrões de exigência do mercado consumidor, e com os compromissos assumidos pelo país na redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE) e combate às mudanças climáticas, da agricultura brasileira e do Cerrado é exigida uma transformação à uma nova realidade, para qual se tornaram necessárias medidas que promovam e incentivem a incorporação do fator ecossistêmico à produção agrícola (ASSAD et al., 2020).

Dentre os objetivos da agenda pela sustentabilidade da agricultura, está a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, a minimização da poluição ambiental, a conservação da qualidade dos solos e da água, e a adequação às exigências do mercado consumidor. Sustentabilidade essa que só será alcançada por meio de sistemas tecnicamente eficientes, ambientalmente adequados, economicamente viáveis e socialmente aceitos (BALBINO, BARCELLOS e STONE, 2011).

Em 2015, no acordo de Paris, o Brasil se comprometeu em reduzir suas emissões de GEE em 43% até 2030. Entretanto, em 2016, as emissões cresceram 2,4% em relação ao ano anterior, sendo a agropecuária o principal agente emissor (BRASIL, 2020). Nesse sentido, o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado – PPCerrado (BRASIL, 2010), os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015), e o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura -

Plano ABC (BRASIL, 2022) são importantes instrumentos para orientar ações visando incentivar a produção mais sustentável, conservar a biodiversidade, e aprimorar o controle e o monitoramento, para assim, cumprir as metas de redução do desmatamento do Cerrado e das emissões de GEE.

O Plano ABC, especificamente, estabelece indicadores de mitigação e adaptação às mudanças do clima por meio de ações prioritárias: a) a recuperação de áreas degradadas, por meio de manejo e adubação b) ampliar a implementação de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPFs) e Sistemas Agroflorestais (SAFs), c) ampliar a produção com Sistema de Plantio Direto (SPD), d) ampliar o uso de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), e) promover o reflorestamento por meio de florestas plantadas, f) e ampliar as tecnologias para tratar e reaproveitar dejetos animais na geração de energia e compostos orgânicos (BRASIL, 2022).

Essas ações e as tecnologias relacionadas possuem grande potencial de mitigação da emissão de GEE, e fazem parte de um conjunto de ações que podem contribuir para intensificação sustentável da produção de alimentos, no contexto de uma agricultura de caráter conservacionista (STRALIOTTO et al., 2020). Responder aos desafios de alimentar uma população cada vez maior e, simultaneamente, reduzir os impactos ambientais, o desmatamento, melhorando a capacidade do ambiente em prover serviços ecossistêmicos, não é uma equação de fácil solução, mas passa essencialmente pela intensificação “ecológica” da agricultura (UZÊDA et al., 2017).

Sistemas de produção para intensificação e diversificação da agricultura no Cerrado

O Sistema de Plantio Direto (SPD), adotado em cerca de 32 milhões de ha no Brasil, promove a manutenção constante de cobertura vegetal no solo, melhorando a infiltração e a umidade do solo, reduzindo o escoamento superficial e a consequente perda de nutrientes do solo que levam à degradação (SILVA et al., 2021), além de contribuir para o balanço positivo de carbono pelo aumento significativo de matéria orgânica, otimizando o papel dos recursos naturais (SCOPEL et al., 2005). A Figura 2 mostra dois exemplos de cultivos sob SPD no Cerrado.

Figura 2 – Plantio de cana-de-açúcar (à esquerda), e soja (à direita), cultivadas em Sistema de Plantio Direto (SPD), em municípios no Cerrado, Goiatuba-GO e Barreiras-BA, respectivamente, 2021.



Fonte: Autores.

A combinação de fatores que levou a ocupação e intensificação agrícola no Cerrado a partir da década de 1970, também contribuiu para a expansão das pastagens, para pecuária de leite e de corte. Nesse período, cerca de 30% da área do bioma foi convertida em pastagens (aproximadamente 60 mi ha), possibilitando uma contribuição de cerca de 32% da produção nacional de leite (VILELA et al., 2022), e 35% do rebanho bovino (SANTANA et al., 2020). Entretanto, estima-se que cerca de 50% das pastagens do Cerrado apresentam algum nível de degradação (VICTÓRIA et al., 2020) e baixa produtividade, resultado de manejo inadequado, taxas de lotação acima da capacidade de suporte, falta de reposição nutricional, e uso equivocado de cultivares não adaptadas (CARVALHO et al., 2021; VILELA et al., 2022).

No Brasil, a bovinocultura é realizada predominantemente em pastagens, cerca de 85%, e embora esses ambientes apresentem grande heterogeneidade quanto a aspectos edáficos, geomorfológicos e climáticos, os produtores nacionais tradicionalmente dispõem pouca atenção quanto à seleção de espécies, com uso predominante do gênero braquiária. A intensificação dos sistemas produtivos por meio da diversificação de gramíneas mais adaptadas e especializadas, ou mesmo consorciadas com leguminosas, representa uma alternativa de baixo-custo, possibilitada por empresas e institutos de pesquisa que trabalham no lançamento de novas cultivares, favorecendo o uso racional da terra para reduzir o fator sazonalidade da oferta, melhorar a nutrição animal, ampliar

a proteção contra pragas e doenças, além de possibilitar a implementação de sistemas integrados de produção (CARVALHO et al., 2021).

Os sistemas de produção ILPFs visam a integração em consórcio, sucessão ou rotação de lavouras agrícolas, pastagens e florestas plantadas. Trata-se de modelos de sistema produtivos que, a partir da diversificação, têm potencial para intensificação da produção do ponto de vista tecnológico, ambiental, agrícola e econômico, uma vez que seus princípios de conservação se alinham também à produção em larga-escala (BALBINO, BARCELLOS e STONE, 2011; FERRAZ, 2021). De acordo com Rodrigues et al. (2021), os ILPFs apresentam elevado potencial para a integração sinérgica entre agricultura e ecologia, para recuperação de pastagens degradadas, aumentando a produtividade, a renda, e evitando o desmatamento.

Existem 4 modalidades de sistemas ILPF: a) a integração lavoura-pecuária (ILP), ou agropastoril, b) a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), ou agrossilvipastoril, c) a integração pecuária-floresta (IPF), ou Silvipastoril, e d) a integração lavoura-floresta (ILF), ou silviagrícola (BALBINO, BARCELLOS e STONE, 2011). O Quadro 1 indica os benefícios tecnológicos, ambientais e socioeconômicos que podem ser alcançados com os sistemas ILPF, e a Figura 3 ilustra exemplos de implementação de sistemas integrados observados no Cerrado.

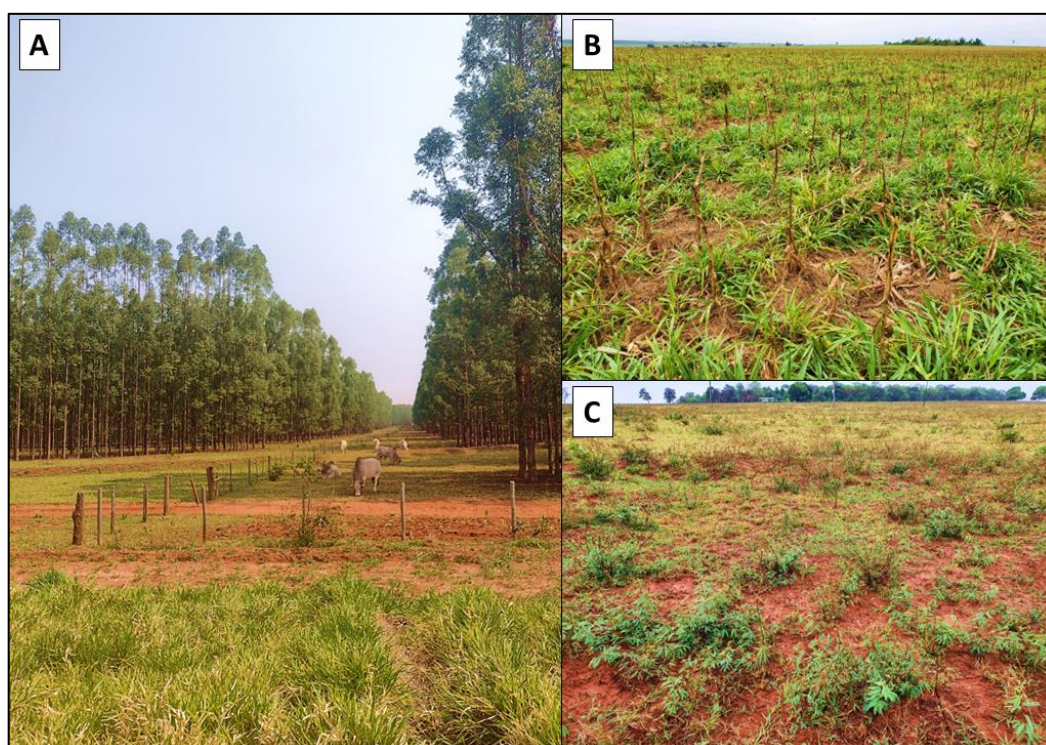
Quadro 1 – Principais benefícios tecnológicos, ambientais e socioeconômicos que podem ser obtidos com a implantação de sistemas integrados de produção (ILPFs).

Benefícios Tecnológicos	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de matéria orgânica disponível, com melhoria físico-química do solo; - Menores riscos a perda de produtividade por veranicos; - Menor ocorrência de daninhas e doenças; - Melhoria do bem-estar animal pelo conforto térmico; - Mais eficiência no uso de insumos e balanço positivo de energia; - Adaptação à diversas escalas de produção.
Benefícios Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> - Redução na pressão por desmatamento; - Uso mais eficiente dos recursos naturais; - Redução da necessidade de agroquímicos; - Risco reduzido de erosão; - Maior recarga e melhor qualidade da água; - Capacidade aumentada de sequestro de carbono e menor emissão de GEEs; - Maior biodiversidade; - Incremento da ciclagem e reciclagem de nutrientes;
Benefícios Socioeconômicos	<ul style="list-style-type: none"> - Maior competitividade no mercado nacional e internacional;

	<ul style="list-style-type: none"> - Maior produtividade de leite e redução do efeito da sazonalidade da oferta; - Dinamização da economia regional; - Redução de riscos pela diversificação da atividade comercial; - Melhora na oferta e na qualidade de alimentos; - Maior estímulo à qualificação profissional; - Melhoria da qualidade de vida do produtor;
--	--

Fonte: adaptado de BALBINO, BARCELLOS e STONE (2011).

Figura 3 – Sistemas de produção agropecuária no município de Campo Grande, MS, 2022. (A) Sistema Silvipastoril; (B) Sistema Agropastoril; (C) Pastagem degradada.



Fonte: Autores.

As fotografias da Figura 3 foram tiradas em setembro de 2022, ao final do período de estiagem, e ilustram a maior qualidade das pastagens sob sistema integrado de produção, com maior conforto térmico para os animais (A), e maior disponibilidade de biomassa acima do solo (B), contribuindo para melhor nutrição animal e preservação do solo, em contraste com uma pastagem com elevado grau de degradação (C). A Figura 2-B mostra uma área de intensificação, sob sistema de plantio direto pela inclusão de braquiária consorciada com a produção de milho de segunda safra, que por sua vez sucedeu a produção de soja no verão. Esse tipo de integração melhora a taxa de cobertura do solo, reduz a erosão, pode melhorar a produtividade do milho em períodos de seca extrema, além de aumentar porosidade e aeração dos latossolos (SILVA et al.,

2021), e contribuir para aumento da biomassa microbiana e da respiração basal do solo (MERLO et al., 2022).

É evidente, portanto, que se trata de uma estratégia de intensificação e diversificação para promover a sinergia dos componentes agrícola e ambiental, a ecoeficiência e desenvolvimento socioeconômico, com envolvimento do setor público, privado e da sociedade civil organizada (BALBINO, BARCELLOS e STONE, 2011).

Outra forma de otimização do uso da terra é a intensificação das áreas agricultáveis, tanto pela conversão de pastagens degradadas em lavouras anuais, quanto pelo aumento na taxa de rotação, atingindo o potencial máximo da terra. A pressão pela redução do desmatamento e a escassez de terras agrícolas força os produtores a elevar a produtividade e o rendimento sem o aumento da área produzida, mas pela intensificação do número de safras (SPERA, 2017).

Nesse cenário, o sistema de produção em dois ciclos, principalmente soja-milho, tem crescido no Cerrado, em especial nos estados de Goiás e Mato Grosso, modelo que começa a se expandir também para o Matopiba, importante fronteira agrícola do país (BOLFE et al., 2016). A geração e difusão de novas cultivares adaptadas, conhecimento e tecnologia de produção, principalmente pela Embrapa, contribuíram para maior produtividade, melhora na oferta de alimentos, e para a consolidação do Brasil e do Cerrado na exportação (SPERA, 2017).

A irrigação é outro fator determinante na dinâmica agrícola do Cerrado e para a intensificação da atividade agrícola, principalmente pela proliferação de sistemas de irrigação por pivôs centrais, que ocupavam, em 2016, mais de 1,15 mi de ha do bioma (VICTÓRIA et al., 2020). De acordo com dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), o Brasil possui 25 polos de irrigação, sendo 13 deles no Cerrado, e destes, 12 são polos de irrigação por pivôs centrais (ANA, 2021a). A Figura 1 ilustra, juntamente com a localização e a distribuição das classes de uso e ocupação do Cerrado, os polos nacionais de irrigação, exibindo a relevância do bioma na produção de lavouras irrigadas.

A irrigação possibilita a produção em regiões áridas e semiáridas, bem como em períodos de seca ou estiagem, e aliada à boas práticas de manejo, reduz riscos de quebras de safra, contribui para o aumento da produtividade em até 3 vezes em relação à produção em sequeiro, para melhor qualidade dos produtos, viabilizando um maior

número de safras e melhorando a regularidade da oferta de alimentos. O aumento do número de pivôs centrais está relacionado à menores perdas em relação a outros métodos, possibilidade de uso integrado com fertilizantes e defensivos (ANA, 2021).

Por outro lado, a irrigação é o fator de maior pressão sobre os recursos hídricos, contribuindo para redução da vazão em corpos hídricos e escassez hídrica, ameaçando o reabastecimento de aquíferos, com elevadas taxas de desperdício. Nesse sentido, é importante que a irrigação seja realizada com planejamento, com monitoramento da evapotranspiração para racionalização do uso da água, e seleção de sistemas que sejam adequados às diferentes realidades (STRALIOTTO et al., 2020).

Victória et al. (2020) revelaram que o Cerrado possui cerca de 44,5 mi ha de pastagens plantadas aptas a serem convertidas em lavouras anuais, sendo que cerca de 19,7 mi possuem baixa declividade (0-3%), o que representa cerca de 24% da área total colhida de lavouras temporárias em todo o país em 2021. Nesse sentido, há um grande potencial de aumento significativo da produtividade e da renda, sem promover desmatamento, diversificando e intensificando os sistemas de tornando-os mais eficientes, especializadas, sustentáveis, menos poluentes e, portanto, capazes de trazer maiores retornos socioeconômicos para o país.

O papel do sensoriamento remoto no monitoramento da dinâmica agrícola do Cerrado

A pesquisa, a tecnologia e a difusão do conhecimento terão papel ainda maior na dinâmica agrícola do Cerrado diante dos novos desafios da agricultura e, nesse sentido, o Sensoriamento Remoto e as Geotecnologias vêm se tornando ferramentas indispensáveis para planejamento, monitoramento e gestão dos recursos agroambientais, integrando um novo contexto em que a ciência e a tecnologia se inserem na agricultura, seja dentro ou fora da porteira, a agricultura digital (MASSRUHÁ et al., 2020).

Desde a década de 1970, o sensoriamento remoto vem se consolidando como principal ferramenta de monitoramento dos recursos naturais. O avanço tecnológico levou ao surgimento de novos sensores e plataformas, como os satélites e, mais recentemente, os veículos aéreos não-tripulados (VANTs), índices de vegetação e novas técnicas de análise (HATFIELD et al., 2019), o que fez com que, nos últimos 20 anos, o número de

estudos com aplicações de imagens orbitais na agricultura publicados anualmente no mundo aumentou cerca de 10 vezes (KHANAL et al., 2020).

O múltiplo leque de sistemas produtivos e técnicas de produção tornam o ambiente agrícola multifuncional, diverso e mais orientado à sustentabilidade. O sensoriamento remoto tem evoluído no sentido de monitorar e mapear a difusão desses sistemas e técnicas, embora ainda existam desafios a serem superados (BÉGUÈ et al., 2018).

Os programas de observação dos recursos naturais da Terra têm aprimorado consideravelmente os sistemas sensores, disponibilizando séries temporais de alta qualidade de processamento, com resoluções temporal, espacial e radiométrica cada vez melhores, e de forma gratuita, melhorando a qualidade dos produtos de sensoriamento remoto para monitoramento agrícola e ambiental. Por exemplo, a implementação de ILPFs (KUCHLER et al., 2020) e os impactos positivos de políticas públicas ou multisetoriais, como a Moratória da Soja (KASTENS et al., 2017), podem ser monitorados com séries temporais de índices de vegetação.

O Projeto MapBiomas, uma iniciativa multi-institucional de mapeamento da dinâmica de uso e cobertura da terra no Brasil nas últimas três décadas, disponibiliza produtos gerados a partir de séries temporais de imagens orbitais de média resolução, tais como mapeamento anual a nível de município, estado ou bioma, além de dinâmicas de transição e mudança do uso e cobertura da terra, inclusive de lavouras agrícolas em nível de cultura, evolução da área de irrigação, qualidade das pastagens, impacto do fogo e redução da superfície de corpos hídricos (MAPBIOMAS, 2022).

O sensoriamento remoto é peça-chave também no monitoramento do desmatamento. Em 2016, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) passou a desenvolver e operar o PRODES Cerrado, projeto a partir do qual o avanço do desmatamento no Cerrado é monitorado a partir do ano 2000 (MAURANO et al., 2019).

Embora estes sejam apenas alguns exemplos de como o sensoriamento remoto e as geotecnologias se consolidaram nessa nova fase de uma agricultura mais digital, sustentável e eficiente, a grande diversidade de sistemas sensores, de diferentes resoluções e finalidades, aliados aos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e às técnicas de análise, possibilitam um leque de incontáveis aplicações que têm contribuído

com o diagnóstico, planejamento e execução de ações que visem a melhoria da qualidade da paisagem agrícola e ambiental do Cerrado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das mudanças climáticas, do crescimento populacional e da demanda por alimentos projetados, e das novas exigências do mercado consumidor nacional e internacional em relação à produtos com menor impacto ambiental, o modelo de produção agrícola do Brasil precisa se transformar. Neste artigo, argumentou-se que os sistemas de produção que visem a intensificação e a diversificação da agricultura, com crescente aporte de conhecimento e tecnologia, podem ser uma solução econômica, social e ambientalmente viáveis para enfrentar esses desafios, em especial os sistemas integrados. Nesse novo cenário, o sensoriamento remoto e as geotecnologias se consolidam como ferramentas indispensáveis de monitoramento e suporte para o planejamento agrícola e ambiental do Cerrado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do Projeto “Mapeamento Agropecuário no Cerrado via Combinação de Imagens Multisensores – MultiCER” (processo 2019/26222-6), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado à primeira autora (Código Financeiro – 001).

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas da irrigação**: uso da água na agricultura. 2ª. ed. Brasília: ANA. 2021. 130 p.

_____. **Catálogo de Metadados da ANA**. 2021a. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1b19cbb4-10fa-4be4-96db-b3dcd8975db0>. Acesso em 16 novembro 2022.

AQUINO, F. G.; OLIVEIRA, M. C. **Reserva Legal no Bioma Cerrado**: uso e preservação. Planaltina: Embrapa, 2006. (Embrapa Cerrados. Documentos, 158).

ASSAD, E. D.; VICTÓRIA, D. C.; CUADRA, S. V.; PUGLIERO, V. S.; ZANETTI, M. Efeitos das mudanças climáticas na agricultura do Cerrado. In: **Dinâmica agrícola do Cerrado**: análises e projeções. Brasília: Embrapa, 2020, p. 213-227.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco referencial**: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília: Embrapa, 2011. 130 p.

BÈGUÉ, A.; ARVOR, D.; BELLON, B.; BETBEDER, J.; DE ALBELLEYRA, D.; FERRAZ, R.P.D.; LEBOURGEOIS, V.; LELONG, C.; SIMÕES, M.; VERÓN, S.R. Remote Sensing and cropping practices: a review. **Remote Sensing**, v. 10, p. 99, 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10010099>.

BOLFE, E. L.; VICTÓRIA, D. C.; CONTINI, E.; BAYMA-SILVA, G.; SPINELLI-ARAÚJO, L.; GOMES, D. Matopiba em crescimento agrícola: aspectos territoriais e socioeconômicos. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, p. 38-62.

BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola do Cerrado: análises e projeções**. Brasília: Embrapa, 2020. 308 p.

BRASIL. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 5ª. ed. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/livro_digital_5ed_estimativas_anuais.pdf. Acesso em 16 novembro 2022.

_____. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado**. 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/controle-de-desmatamento-e-incendios-florestais/pdf/Documentobasecontextoeanlisededados.pdf>. Acesso em 16 novembro 2022.

_____. **Plano ABC - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono#:~:text=O%20Plano%20ABC%20tem%20por,setor%20agropecu%C3%A1rio%20assumidos%20pelo%20pa%C3%ADs>. Acesso em 16 novembro 2022.

CARVALHO, M. A.; RAMOS, A. K. B.; BRAGA, G. J.; FONSECA, C. E. L.; FERNANDES, F. D. **Diversificação de pastagens: alternativa simples e de baixo custo para a intensificação dos sistemas de produção pecuário**. Brasília: Embrapa, 2021. 12p. (Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico, 188).

CONTINI, E.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; GASQUES, J.; VIEIRA JÚNIOR, P. A. O papel das políticas públicas no Cerrado. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola do Cerrado: análises e projeções**. Brasília: Embrapa, 2020, p. 59-88.

FERRAZ, R. P. D.; KUCHLER, P. C.; SIMÕES, M. A intensificação do uso agrícola do solo: uma trajetória para o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira. In: COSTA, A. J. S. T.; LIMA, C. S. (org.). *Natureza e sociedade: perspectivas de ação e análise*. Curitiba: Bagai, 2021. p. 236-248.

HATFIELD, J.L.; PRUEJER, J.H.; SAUER, T.J.; DOLD, C.; O'BRIEN, P.; WACHA, K. Applications of vegetative indices from Remote Sensing to agriculture: past and future. **Inventions**, v. 4, p. 71, 2019. <https://doi.org/10.3390/inventions4040071>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. [ca. 2010] Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=10&uf=00>. Acesso em 16 novembro 2022.

_____. PAM: produção do Brasil de lavouras temporárias entre 75 e 2000. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 15 novembro 2022.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação-geral de Observação da Terra. **Monitoramento do Desmatamento no Cerrado Brasileiro por Satélite**. [ca. 2022]. Disponível em: <http://cerrado.obt.inpe.br/monitoramento-do-desmatamento-no-cerrado-brasileiro-por-satelite/>. Acesso em 17 novembro 2022.

_____. **TerraClass: organização, acesso e transparência – Bioma Cerrado**. [ca. 2018]. Disponível em: <https://www.terraclass.gov.br/geoportal-cerrado/>. Acesso em 16 nov. 2022.

KASTENS, J.H.; BROWN, J.C.; COUTINHO, A.C.; BISHOP, C.R.; ESQUERDO, J.C.D.M. Soy moratorium impacts on soybean and deforestation dynamics in Mato Grosso, Brazil. **Plos One**, v. 12, p. e0176168, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176168>.

KHANAL, S.; KUSHAL, K.C.; FULTON, J.P.; SHEARER, S.; OZKAN, E. Remote Sensing in agriculture - accomplishments, limitations and opportunities. **Remote Sensing**, v. 12, p. 3783, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12223783>.

KUCHLER, P. C.; BÉGUÈ, A.; SIMÕES, M.; GAETANO, R.; ARVOR, D.; FERRAZ, R. P. D. Assessing the optimal preprocessing steps of MODIS time series to map cropping systems in Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 92, p. 102150, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102150>.

MAPBIOMAS. **Produtos**. 2022. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/produtos>. Acesso em 17 novembro 2022.

MASSRUHÁ, S. M. F. S. et al. A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. A.; OLIVEIRA, S. R. M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. **Agricultura Digital: Pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília: Embrapa, 2020, p. 20-45.

MAURANO, L. E. P.; ALMEIDA, C. A.; MEIRA, M. B. Monitoramento do desmatamento do Cerrado brasileiro por satélite: PRODES Cerrado. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais [...]** São José dos Campos: INPE, 2019. p. 191-194.

MERLO, M. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, L. C. M.; ARAGÃO, O. O. S.; BORGHI, E.; MOREIRA, F. M. S.; THEBALDI, M. S.; RESENDE, A. V.; SILVA, M. L. N.; SILVA, B. M. Microbiological Properties in Cropping Systems and Their Relationship with Water Erosion in the Brazilian Cerrado. **Waters**, v. 14, p. 614, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14040614>.

ONU – Organização das Nações Unidas. **World population to reach 8 billion this year, as growth rate slows**. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2022/07/1122272>. Acesso em 14 novembro 2022.

_____. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 16 novembro 2022.

SANO, E. E.; BETTIOL, G. M.; MARTINS, E. S.; COUTO JÚNIOR, A. F.; VASCONCELOS, V.; BOLFE, E. L.; VICTÓRIA, D. C. Características gerais da paisagem do Cerrado. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola do Cerrado: análises e projeções**. Brasília: Embrapa, 2020, p. 21-37.

SANTANA, C. A. M.; Campos, S. K.; Marra, R.; Aragão, A. A. Cerrado: pilar da agricultura brasileira. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola do Cerrado: análises e projeções**. Brasília: Embrapa, 2020, p. 37-58.

SANTOS, C. A. P.; SANO, E. E.; SANTOS, P. S. Fronteira agrícola e a dinâmica de uso e ocupação dos solos do oeste da Bahia. **ACTA Geográfica**, v. 12, p. 17-32, 2018.

SCOPEL, E.; DOUZEL, J. M.; SILVA, F. A. M.; CARDOSO, A.; MOREIRA, J. A. A.; FINDELING, A.; BERNOUX, M. Impactos do Sistema de Plantio Direto com Cobertura Vegetal (SPDCV) sobre a dinâmica da água, do nitrogênio mineral e do carbono do solo do Cerrado Brasileiro. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, p. 169-189, 2005.

SILVA, L. C. M.; AVANZI, J. C.; PEIXOTO, D. S.; MERLO, M. N.; BORGHI, E.; RESENDE, A. V.; ACUÑA-GUZMAN, S. F.; SILVA, B. M. Ecological intensification of cropping systems enhances soil functions, mitigates soil erosion, and promotes crop resilience to dry spells in the Brazilian Cerrado. **International Soil and Water Conservation**, v. 9, p. 591-604, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.06.006>.

- SPERA, S. Agricultural Intensification can preserve the Brazilian Cerrado: Applying lessons from Mato Grosso and Goiás to Brazil's last agricultural frontier. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p. 1-7, 2017. <https://doi.org/10.1177/1940082917720662>.
- STRALIOTTO, R.; PRADO, R. B.; FERRAZ, R. P. D.; SIMÕES, M. G.; FONTANA, D.; DENARDIN, J. E.; GIONGO, V.; AMARAL, A. J.; BIANCHI, S. R.; BEDENDO, G. C. Intensificação da agricultura com sustentabilidade. In: TORRES, L. A.; CAMPOS, S. K. **Megatendências da Ciência do Solo** 2030. Brasília: Embrapa, 2020, p. 82-102.
- TERRACLASS. **O projeto TerraClass**. 2018. Disponível em: <https://www.terraiclass.gov.br/geoportal-cerrado/>. Acesso em 17 novembro 2022.
- UZÊDA, M. C.; TAVARES, P. D.; ROCHA, F. I.; ALVES, R. C. **Paisagens agrícolas multifuncionais**: intensificação ecológica e segurança alimentar. Brasília: Embrapa, 2017. 77 p.
- VAN DIJK, M.; MORLEY, T.; RAU, M. L.; SAGHAI, Y. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. **Nature Food**, v. 2, p. 494-501, 2021. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>.
- VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; ASSAD, E. D.; ANDRADE, R.G.; GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. Potencialidades para expansão e diversificação agrícola sustentável do Cerrado. In: BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (Org.). **Dinâmica agrícola no Cerrado: Análises e projeções**. 1ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020, p. 229-258.
- VILELA, D.; ANDRADE, R. G.; LEITE, J. L. B.; HOTT, M. C.; MAGALHÃES JÚNIOR, W. C. P. Produção de leite no Cerrado: conjuntura e análises. In: HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHAES JUNIOR, W. C. P. de (org.). **Geotecnologias**: aplicações na cadeia produtiva do leite. Ponta Grossa: Atena, 2022. p. 77-81.