

## Revolução Verde: passado e desafios atuais

Clayton Campagnolla<sup>1</sup>  
Manoel Moacir Costa Macêdo<sup>2</sup>

### RESUMO

Este artigo utiliza o procedimento metodológico de um estudo exploratório e descritivo com o objetivo de analisar os impactos ou externalidades negativas da Revolução Verde, embora se reconheça que ela tenha gerado resultados positivos como: a expansão geográfica da agropecuária e aumento de sua produtividade; oferta de alimentos ao mercado interno; exportação de commodities agropecuárias; desenvolvimento da agroindústria e da indústria de insumos; entre outros. De outro lado, a Revolução Verde resultou em concentração fundiária e êxodo rural; simplificação dos sistemas produtivos por meio da monocultura e redução no número de espécies cultivadas; desmatamento e degradação de biomas naturais e biodiversidade; dependência de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos; e aumento de emissões de gases do efeito estufa. Mesmo a expansão do uso de organismos geneticamente modificados, ou transgênicos, não solucionou as externalidades negativas da Revolução Verde. Portanto, não se pode descartar a necessidade de transformações profundas nos processos de produção agropecuária e na estrutura e funções das políticas públicas de modo a enfrentar os novos desafios de segurança alimentar e qualidade nutricional em consonância com os princípios da sustentabilidade: aumento de produtividade; conservação e recuperação de recursos naturais; aumento de renda e da qualidade de vida e inclusão social dos produtores; resiliência das comunidades e agroecossistemas em relação às mudanças climáticas; e mecanismos efetivos e responsáveis de governança. No final, são apresentados desafios para impulsionar essas transformações rumo à sustentabilidade.

**Termos para indexação:** agricultura, agropecuária, externalidades, impacto socioambiental, sustentabilidade.

### Green Revolution: past and current challenges

### ABSTRACT

This article uses the methodological procedure of an exploratory and descriptive study, with the objective of analyzing the impacts or negative externalities of the Green Revolution, although it is recognized that it has generated positive results such as: the geographical expansion of agriculture and increased productivity; supply of food to the domestic market; export of agricultural commodities; development of agro-industry and input industry; among others. On the other hand, the Green Revolution resulted in land concentration and rural exodus; simplification of production systems through monoculture and reduction in the number of cultivated species; deforestation and degradation of natural biomes and biodiversity; dependence on pesticides and synthetic fertilizers; and increased greenhouse gas emissions. Even the expansion of the use of genetically modified organisms, or transgenic organisms, did not solve the negative externalities of the Green Revolution. Therefore, the need for profound transformations in agricultural production processes and in the structure and functions of public policies cannot be ruled out in order to face the new challenges of food security and nutritional quality in line with the principles of sustainability: increased productivity; conservation

### Ideias centrais

- Contribuição da Revolução Verde para aumentos da produtividade agropecuária, oferta interna de alimentos e exportação de commodities.
- Externalidades negativas ambientais e sociais da Revolução Verde apontam que ela não resiste ao futuro.
- Monocultivos e dependência do uso de insumos e sementes melhoradas geneticamente são incompatíveis com a agricultura familiar.
- Necessidade de transformação dos sistemas produtivos agropecuários para atender novas demandas de sustentabilidade, segurança alimentar e nutricional e saúde.
- Desafios de inovação tecnológica e de políticas públicas para impulsionar a transformação da agropecuária.

Recebido em  
01/09/2021

Aprovado em  
15/12/2021

Publicado em  
13/06/2022



This article is published in Open Access under the Creative Commons Attribution licence, which allows use, distribution, and reproduction in any medium, without restrictions, as long as the original work is correctly cited.

<sup>1</sup> Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Entomologia, ex-presidente da Embrapa, ex-diretor da FAO. E-mail: claytoncampagnolla@gmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Sociologia, ex-chefe de Gabinete da Presidência e de Unidades Descentralizadas da Embrapa. E-mail: manoelcmacedo@gmail.com

and recovery of natural resources; increase in income and in quality of life, and social inclusion of producers; resilience of communities and agroecosystems in relation to climate change; and effective and responsible governance mechanisms. At the end, challenges are presented to drive these transformations towards sustainability.

**Index terms:** agriculture, agriculture and livestock, externalities, socio-environmental impact, sustainability.

## INTRODUÇÃO

A modernização da agricultura, inspirada nos fundamentos da chamada Revolução Verde e iniciada na década de 1960, tem cumprido o papel de prover alimentos a uma população crescente, tendo a inovação tecnológica como um de seus principais eixos, embora o acesso aos alimentos continue a ser um dos grandes desafios. A Revolução Verde caracteriza-se pela mudança de paradigma na produção agropecuária com o uso de fertilizantes químicos, irrigação, mecanização, agrotóxicos e sementes geneticamente melhoradas, visando ao aumento de produtividade (Hazell, 2009; Ameen & Raza, 2017). Grande parte do seu sucesso foi resultado da combinação de altas taxas de investimento em pesquisa de plantas cultivadas, infraestrutura, desenvolvimento de mercado e apoio de políticas apropriadas (Pingali, 2012).

O objetivo desse ensaio está restrito aos condicionantes de um estudo exploratório que se propõe a coletar informações relevantes para posteriores trabalhos, a exemplo de estudos experimentais. Para o caso em apreço, analisam-se os impactos internos e externos que a tecnologia agropecuária causa aos sistemas de produção em uso pelos produtores rurais. No entanto, não serão realizadas comparações nem controles, apenas tendências e citações.

No Brasil, a Revolução Verde foi implementada por meio de três pilares: pesquisa agropecuária, assistência técnica e crédito rural subsidiado, seguindo o padrão adotado em outros países onde esse novo paradigma foi implementado. Outras políticas setoriais foram promovidas, a exemplo de planos de aquisição de insumos químicos e terras, assim como a desoneração tributária de ICMS<sup>3</sup> interestadual, PIS/Pasep<sup>4</sup> e IPI<sup>5</sup> para agrotóxicos e outros insumos agropecuários, que persistem até hoje. Contudo, é preciso analisar com maior abrangência os seus impactos e externalidades uma vez que não houve neutralidade nos princípios e fundamentos da Revolução Verde, que acabou por privilegiar determinadas regiões, tipos de produtos e produtores.

De início, não se negam os resultados positivos obtidos com a Revolução Verde e que merecem destaque. Áreas tidas como imprestáveis ao cultivo foram incorporadas à produção agropecuária, graças ao conhecimento tecnológico, o que possibilitou a geração de novas variedades de plantas e raças de animais – isso aliado às práticas de correção da acidez do solo, uso de fertilizantes sintéticos e manejo de solo e água, bem como ao uso intensivo de agroquímicos, produtos veterinários e máquinas e equipamentos agrícolas. Com isso, houve diminuição dos riscos, e, em consequência, a garantia regular de oferta de alimentos.

A Revolução Verde desempenhou papel importante no desenvolvimento das cadeias agroalimentares com a geração de empregos em muitos setores da economia a montante e a jusante da produção agropecuária, potencializando a industrialização de alimentos, o que facilitou o seu acesso a preços acessíveis. Por outro lado, aumentou a produção de alimentos processados e calóricos com conservantes, aditivos, sal, açúcar e gorduras saturadas, que se contrapõem ao conceito de nutrição saudável. Ademais, seu foco em monocultivos estritamente produtivistas contribuiu para a simplificação dos processos produtivos, excluiu os pequenos agricultores descapitalizados e ignorou o aprimoramento tecnológico dos sistemas tradicionais que se fundamentam na diversificação produtiva e no uso e conservação dos recursos naturais.

<sup>3</sup> Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação.

<sup>4</sup> Programa de Integração Social/Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público.

<sup>5</sup> Imposto sobre Produtos Industrializados.

Por exemplo, constata-se que a Revolução Verde na África tem replicado os resultados negativos dessa experiência na Índia (Wise, 2021):

- A produtividade dos alimentos básicos não cresceu significativamente de maneira rápida, apesar do alto custo dos investimentos em tecnologias intensivas em capital.
- O sucesso moderado em um cultivo prioritário, a exemplo do trigo na Índia e milho na África, ocorreu às expensas do crescimento sustentado da produtividade em outros cultivos alimentícios importantes.
- Os subsídios e outros incentivos têm incorporado mais áreas com cultivos prioritários, incentivando a intensificação com impactos ambientais negativos no uso da terra.
- A fertilidade do solo tem diminuído como resultado da extração de nutrientes por monocultivos prioritários, sendo estes supridos por fertilizantes inorgânicos com pouca atenção à saúde geral do solo.
- O alto custo dos insumos muitas vezes excede o retorno financeiro que o agricultor tem com o aumento na produtividade, deixando muitos endividados.

Outro exemplo é o caso de Ruanda, conhecido como o país africano das mil colinas e com a maior densidade demográfica do continente, cujas políticas de apoio à Revolução Verde envolveram uma transformação substancial para os agricultores. A mudança ocorreu por meio de um sistema tradicional de policultura voltado à subsistência e ao comércio local para a adoção de variedades modernas de sementes, insumos e crédito, com o objetivo de especializar-se em cultivos comercializáveis e alcançar maior produção e renda (Dawson et al., 2016). Resultados mostraram que uma minoria relativamente rica foi capaz de aderir à modernização forçada, e as políticas públicas parecem estar exacerbando a falta de terra e a desigualdade para os agricultores mais pobres. Os impactos negativos foram evidentes para a maioria das famílias rurais, uma vez que as práticas de subsistência foram interrompidas, a pobreza foi exacerbada, os sistemas locais de conhecimento, comércio e trabalho foram prejudicados, e a segurança e a autonomia da posse da terra foram reduzidas. Portanto, fica evidente que a introdução da Revolução Verde em Ruanda beneficiou apenas uma minoria de agricultores, mostrando que aspectos sociais e culturais não podem ser negligenciados em programas de intensificação da produção agropecuária.

De um modo geral, constata-se que a Revolução Verde foi direcionada a produtos básicos ou commodities com menor ênfase em frutas, verduras e legumes e em espécies locais que têm grande importância nutricional. A prioridade no aumento da produtividade das lavouras e animais gerou externalidades ambientais como a degradação dos solos e água, perdas de biodiversidade e de ecossistemas, aumento da emissão de gases do efeito estufa e efeitos adversos do uso de fertilizantes e agrotóxicos (Kerr, 2012; Frison, 2016; Kumar, 2017). Políticas de proteção de preços e subsídios aos insumos como fertilizantes, agrotóxicos e água não contribuem para o uso eficiente de insumos e se contrapõem à adoção de sistemas produtivos mais sustentáveis (Pingali, 2019).

No Brasil, os dados comprovam que a produção e produtividade das lavouras e criações aumentaram consideravelmente, em especial, as qualificadas como commodities agrícolas. Segundo a Conab (2021a), no período de 1980 a 2021, a área plantada com soja aumentou mais de quatro vezes – de 8,7 milhões de hectares a 38,5 milhões de hectares –; a produção total aumentou mais de oito vezes – de 15,5 milhões de toneladas a 135,9 milhões de toneladas –; enquanto a produtividade praticamente se duplicou – de 1,8 t/ha a 3,5 t/ha. Nesse caso, o aumento da produção aconteceu mais pela expansão da área cultivada do que pelo aumento da produtividade. No mesmo período, a cultura do milho cresceu 62% na área plantada – de 12,2 milhões de hectares a 19,8 milhões de hectares –; aumentou 3,81 vezes na produção – de 19,4 milhões de toneladas a 93,4 milhões de toneladas –; e 1,47 vezes na produtividade – de 1,9 t/ha a 4,7 t/ha. Portanto, também nesse caso, o aumento da produção ocorreu mais em virtude do aumento da área plantada do que do aumento da produtividade, mesmo havendo mais de uma safra por ano na mesma área. O mesmo ocorreu com os cultivos do arroz e do trigo, que, mesmo tendo sido submetidos a reduções na área plantada, mostraram, no mesmo período, um

aumento na produção em virtude do crescimento expressivo da produtividade de, respectivamente, quatro e três vezes. Nos últimos 40 anos, a produção de carne de aves aumentou 22 vezes, enquanto as produções de carne suína, bovina e leite aumentaram quatro vezes.

É importante destacar que os dados da Conab (2019, 2021b) e do ComexVis (Brasil, 2021b) mostram que mais de 50% dos grãos e cerca de 25% da carne bovina produzidos são exportados, compondo uma cesta de commodities agropecuárias globais que contribuem significativamente para o equilíbrio da balança comercial do País. Esse ponto é paradoxal, uma vez que, diante da pandemia da Covid-19, um em cada dois brasileiros apresenta insegurança alimentar em algum nível, enquanto cerca de 10% mostram insegurança alimentar grave, sem terem o que comer (Silva, 2021). Isso mostra que o aumento da produção de commodities, por si só, não é suficiente para sanar a fome dos brasileiros, havendo necessidade de políticas públicas permanentes de estímulo à geração de empregos e renda mínima. Por outro lado, o foco em um reduzido número de commodities de exportação diminuiu a qualidade da alimentação por ter reduzido a produção de alimentos saudáveis.

Com base nesses procedimentos metodológicos, são destacadas as seguintes externalidades negativas:

- A concentração fundiária e a mecanização geraram o êxodo rural, que potencializou as favelas na periferia das cidades e a urbanização caótica.
- A especialização e a simplificação dos sistemas produtivos, com a implantação da monocultura em grandes áreas, reduziram o número de espécies de plantas cultivadas.
- A expansão da área cultivada gerou o desmatamento de áreas de vegetação natural nos biomas brasileiros, como Amazônia e Cerrado.
- O aumento da ocorrência de pragas, doenças e plantas invasoras em virtude da redução da biodiversidade terrestre levou à dependência de agrotóxicos para o controle de pragas, doenças e plantas invasoras, tendo aumentado os riscos à saúde humana e gerado desequilíbrios na flora e fauna.
- A aplicação de fertilizantes sintéticos e o uso intensivo dos solos contribuíram para a redução de sua biodiversidade, tendo aumentado a incidência de patógenos de plantas.
- Os processos de produção agropecuária têm contribuído para o aquecimento global por causa da emissão significativa de gases do efeito estufa.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia deste estudo é uma combinação de estudos exploratórios e descritivos. No dizer de Macêdo (2009), os estudos exploratórios objetivam realizar estratégias qualitativas e quantitativas, e coletar informações, tendências e inter-relações entre os fenômenos observados para futuras pesquisas. Os descritivos, por sua vez, pressupõem a existência de conhecimentos anteriores e clareza no objeto de estudo. Não se trata, portanto, de estudos experimentais ou explicativos, que prospectam identificar as causas e os efeitos dos fenômenos pesquisados, os quais exigem planejamento rigoroso e grupos de controle e experimentais.

Nessa perspectiva, no contexto metodológico de um estudo exploratório, não foram levantadas hipóteses e nem as relações causais entre variáveis dependentes e independentes. Assim, no rastro dos objetivos apresentados, o marco teórico constou de revisão de literatura de fontes acreditadas na comunidade científica; informações eletrônicas atualizadas da internet; identificação de estudos de caso; e consultas às bases de dados do Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2022), Agrofit/Mapa

(Brasil, 2021a), ComexVis (Brasil, 2021b), Terra Brasilis/Inpe<sup>6</sup> (Terra Brasilis..., 2020a, 2020b) e SEEG<sup>7</sup>/Observatório do Clima (Análise..., 2020).

## IMPACTOS DA REVOLUÇÃO VERDE NO MEIO RURAL E NA AGROPECUÁRIA

### Concentração fundiária e êxodo rural

A Revolução Verde priorizou a adoção de pacotes tecnológicos lastreados no uso de sementes melhoradas geneticamente, de alto desempenho, dependentes do uso de agroquímicos e outras práticas de manejo para o aumento da produtividade de lavouras e criações. São sistemas produtivos intensivos em capital que excluíram a grande maioria dos pequenos agricultores familiares, por não terem acesso ao crédito e às inovações tecnológicas adequadas e por estarem mais sujeitos aos riscos climáticos e incertezas de mercado.

Em muitos países em desenvolvimento, as tecnologias e práticas da Revolução Verde incentivaram a agricultura industrial em larga escala em detrimento dos pequenos agricultores. O resultado foi o aumento da pobreza desses agricultores, que acabaram vendendo suas terras para grandes empresas agropecuárias. Diante dessa situação, houve um aumento massivo de pequenos agricultores e trabalhadores rurais sem-terra que praticamente não tiveram outra alternativa senão migrar para os centros urbanos, com impactos na violência urbana e na desigualdade social (Ameen & Raza, 2017).

O êxodo rural sem precedentes na história brasileira, ocorrido entre as décadas de 1960 e 1980, excluiu quase 30 milhões de trabalhadores da produção agropecuária em virtude da concentração fundiária e das inovações tecnológicas poupadoras de trabalho no campo (Martine, 1991). Grande parte desse grupo contribuiu para o aumento das favelas, que hoje representam mais de 16 milhões de moradores em 5 milhões de domicílios (IBGE, 2020). Caso as favelas fossem colocadas em um único estado, elas formariam o quinto maior estado brasileiro em população, atrás apenas de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia.

A concentração fundiária foi fortalecida pela modernização da agropecuária advinda da receita da Revolução Verde. O Índice de Gini (IG), que mediu a desigualdade da posse de terras agrícolas, em 1920 foi 0,83 e subiu para 0,84 em 1960 (Klein & Luna, 2019). No período de 1985 a 2006, o IG se manteve em 0,85 e cresceu para 0,86 em 2017, quando foi realizado o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2018). Em 2017, os estabelecimentos rurais com menos de 50 hectares representavam 81,4% da quantidade total, mas ocupavam apenas 12,8% da área total. Por outro lado, os estabelecimentos com mais de 2.500 hectares representavam 0,3% do total e ocupavam 32,8% da área de estabelecimentos rurais do País. Esses números comprovam que a concentração fundiária é um tema histórico que requer mais atenção do Estado brasileiro.

De acordo com o Censo Agropecuário brasileiro de 2017 (IBGE, 2018), existem cerca de cinco milhões e setenta e dois mil estabelecimentos agropecuários. A área média dos estabelecimentos agropecuários no Brasil é de 69 hectares. O maior número de estabelecimentos permanece nas mãos dos pequenos proprietários, mas a porção maior das áreas está nas mãos de poucos e grandes proprietários rurais. Quanto à cor, nas propriedades de mil a dez mil hectares, a quantidade de proprietários brancos é mais que o triplo da quantidade de proprietários pretos ou pardos, ou seja, os proprietários brancos representam mais que 75% do total, enquanto os pretos ou pardos chegam a 24%. (IBGE, 2018). A realidade histórica do Brasil é de concentração de terras nas mãos de uma minoria de grandes produtores rurais brancos. Outra revelação importante é que o meio rural brasileiro está ficando mais masculino, pois as mulheres jovens estão deixando o campo e indo para a cidade, uma das heranças debitadas às políticas da produção agropecuária brasileira da Revolução Verde.

<sup>6</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

<sup>7</sup> Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa.

## Monocultura e espécies cultivadas

A expansão da monocultura, prescrição da Revolução Verde, resultou na simplificação dos sistemas produtivos, na extinção de espécies e variedades tradicionais e na redução do número de espécies cultivadas. Na Índia, essa prática eliminou cerca de 100.000 variedades de arroz indígena e resultou em grande diminuição no cultivo de sorgo, outros milhetos, cevada e amendoim. Por outro lado, houve um grande aumento no cultivo de trigo, soja e arroz. (John & Babu, 2021).

Atualmente no mundo, cerca de 30 cultivos respondem por 95% das necessidades alimentares humanas de energia, e apenas quatro, arroz, trigo, milho e batata, são as fontes de mais de 60% do total de energia ingerida (Vos & Fan, 2019). A concentração em um número reduzido de espécies cultivadas não atende às necessidades de consumo diversificado de alimentos para uma nutrição saudável. No Brasil, o café é o alimento mais consumido, seguido pelo feijão, arroz, sucos, refrigerantes e carne bovina (IBGE, 2020).

As sementes de variedades transgênicas ou variedades geneticamente modificadas (VGM) fazem parte de uma nova categoria de tecnologias da Revolução Verde. A transgenia tem sido usada na medicina, na indústria e nos fármacos, mas na agricultura essa inovação tecnológica carrega contradições, vantagens e desvantagens. A área global semeada com VGM das principais culturas comerciais expandiu-se mais de 100 vezes ao longo de duas décadas. Trinta países utilizam VGM, e apenas cinco deles, Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá e Índia, respondem por quase 90% da produção agrícola que utiliza VGM. Apenas soja, milho, canola e algodão representam 99% da área mundial cultivada com VGM (Van Acker et al., 2017).

Em 2019, o Brasil se manteve como o segundo país com a maior área plantada com transgênicos no mundo. Foram 52,8 milhões de hectares cultivados, 1,6 milhão de hectares a mais que em 2018. A soja geneticamente modificada ocupou 35,1 milhões de hectares, o milho transgênico foi plantado em 16,3 milhões de hectares, o algodão em 1,4 milhão de hectares, e a cana-de-açúcar em 18 mil hectares (SNA, 2020).

A produção e a produtividade das culturas aumentaram significativamente com a adoção das culturas transgênicas, principalmente em virtude da tolerância aos herbicidas e da resistência às pragas. Por exemplo, a soja transgênica Roundup Ready facilitou a prática do cultivo mínimo ou plantio direto por causa da sua resistência ao herbicida glifosato, tendo controlado a erosão e conservado a umidade dos solos em virtude do aumento de matéria orgânica. As VGM também contribuem para melhorar a renda dos agricultores por causa da redução do uso de agrotóxicos. No entanto, além de as VGM não solucionarem muitas das externalidades da Revolução Verde, há vários riscos e preocupações decorrentes do uso dessa tecnologia. Uma delas é o aumento de insetos-pragas e plantas invasoras resistentes aos pesticidas. Outras restrições das VGM incluem o limitado acesso às sementes por agricultores familiares em virtude de seus custos crescentes, bem como o aumento da dependência de empresas multinacionais de sementes, pois estas detêm o know-how e a propriedade intelectual dessas variedades, inviabilizando a sua produção por empresas menores. Consumidores de muitos países e especialmente de países europeus se opõem aos produtos transgênicos e expressaram preocupações sobre possíveis impactos na saúde humana no longo prazo e sobre a disseminação de sua genética a espécies silvestres e a variedades não transgênicas. Esse posicionamento tem refletido em restrições por parte de muitos governos na produção e comércio de produtos transgênicos, como é o caso da maior parte dos países europeus.

Outro ponto decorrente da simplificação das dietas e concentração da produção agrícola em fontes calóricas, conforme os preceitos da Revolução Verde, é sua contribuição à obesidade e sobrepeso nos adultos, que tem crescido acentuadamente em todas as regiões do planeta. A obesidade adulta aumentou de 11,7% em 2012 para 13,1% em 2016. A América do Norte, Ásia Ocidental, Austrália e Nova Zelândia tiveram os níveis mais altos de obesidade em 2016, com 35,5%, 29,8% e 29,3%, respectivamente. A América Latina e Caribe e a Oceania, excluindo a Austrália e a Nova Zelândia, também apresentaram níveis acima de 20%. No Brasil, a obesidade saltou de 20,1% em 2012 para 22,1% em 2016, na população adulta com 18 anos ou mais, um aumento de 10%. (The

State..., 2021). As medidas de isolamento social relacionadas ao Covid-19 exacerbaram o sobrepeso e a obesidade da população.

### **Desmatamento e degradação de biomas naturais e biodiversidade**

O desmatamento e a degradação florestal mundial continuam a ocorrer em altas taxas, o que contribuiu para a perda significativa e contínua da biodiversidade. Entre 2015 e 2020, a taxa de desmatamento foi estimada em 10 milhões de hectares por ano, abaixo dos 16 milhões de hectares anuais na década de 1990. Por sua vez, a expansão agropecuária continua sendo o principal motor do desmatamento, da fragmentação florestal e da perda associada da biodiversidade da flora e da fauna (The State..., 2020).

Análises recentes mostram que apenas sete commodities agropecuárias – bovinos, dendê, soja, cacau, borracha, café e fibra de madeira de floresta plantada – representaram 26% da perda global de cobertura florestal e 57% da perda de cobertura de árvores relacionada à agricultura, no período de 2001 a 2015. Essas commodities substituíram 71,9 milhões de hectares de floresta durante esse período, uma área maior que o dobro do tamanho da Alemanha (Weisse & Goldman, 2021).

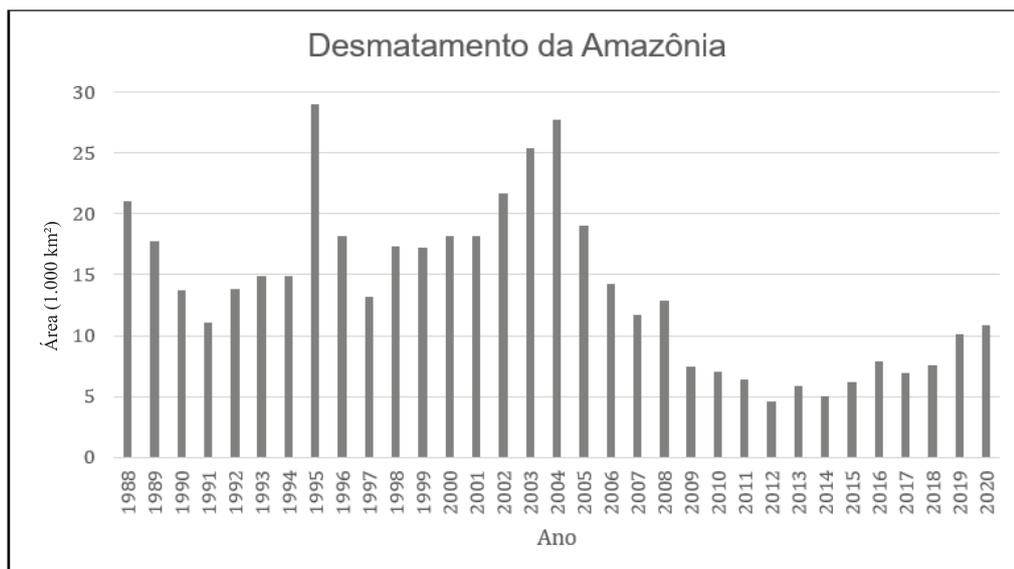
Entre essas commodities agrícolas, a carne bovina foi a que mais contribuiu para o desmatamento, com 45,1 milhões de hectares, uma área do tamanho da Suécia. O dendê está em segundo lugar, tendo substituído 10,5 milhões de hectares de florestas, de 2001 a 2015, enquanto a soja substituiu, no mesmo período, 7,9 milhões de hectares. Hoje, a maior parte da perda de cobertura florestal associada à expansão da agropecuária acontece nos trópicos, uma tendência preocupante considerando os vastos estoques de carbono e a biodiversidade mantidos em florestas tropicais.

A soja também substituiu as florestas principalmente em países da América do Sul, como Brasil e Argentina. A conversão de florestas em pastagem de gado foi amplamente distribuída em todo o mundo, mas existem *hotspots* na América do Sul e Central. Embora apenas cerca de um quarto da carne bovina produzida no Brasil seja exportada, as cadeias de fornecimento dessa commodity têm exercido pressão internacional crescente para a redução do desmatamento.

No Brasil, a lógica produtivista contribuiu para a expansão da fronteira agrícola com o consequente desmatamento de dois biomas: a Amazônia e o Cerrado. Estima-se que 80% do desmatamento da Amazônia deveu-se à expansão de pastagens e à produção de grãos, especialmente soja, geralmente associada com a extração prévia de madeira. Dados do Inpe (Terra Brasilis..., 2020a) mostram que, na década de 1980, o desmatamento total da Amazônia era de 377.600 km<sup>2</sup>. Entre 1996 e 2000, o desmatamento anual oscilou entre 17.000 km<sup>2</sup> e 18.000 km<sup>2</sup>, mas decresceu entre 2008 e 2015, tendo oscilado entre 6.207 km<sup>2</sup> e 7.989 km<sup>2</sup>; porém, houve um aumento significativo em 2019 e 2020, com 9.800 km<sup>2</sup> e 10.700 km<sup>2</sup> desmatados, respectivamente, como mostra a Figura 1. Atualmente, a área total desmatada da Amazônia é de 729.782 km<sup>2</sup>, o que representa perda de quase 18% de sua vegetação original.

É importante destacar a relevância do bioma amazônico para a produção agropecuária e o meio ambiente. A floresta amazônica possui uma relevante bacia hidrográfica que produz uma imensa quantidade de água, indispensável à regulação do clima global. Os “rios voadores”, formados por massas de ar com vapor de água, gerados na Amazônia afetam o clima das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. Apesar de sua riqueza ainda ser precificada, a Amazônia continua pobre, desigual e cobiçada. A renda média das famílias amazônicas é 20% menor que a média nacional. Estima-se que apenas 30% das áreas na Amazônia estejam regularizadas. É um ambiente de grilagem, morte e extermínio de populações fragilizadas (Macêdo & Vieira, 2021).

A floresta amazônica e suas águas abrigam a maior biodiversidade do planeta, distribuída em plantas, mamíferos, aves, peixes, anfíbios, insetos e microrganismos, cuja maior parte ainda não é sequer conhecida. Um hectare da floresta amazônica abriga mais espécies vivas do que todos os ecossistemas das zonas temperadas do planeta. Vista como um todo, a flora amazônica contém cerca de 30 mil espécies, com 5 mil tipos de árvores (Benjamin, 2019).



**Figura 1.** Evolução da área anual desmatada da Amazônia, em 1.000 km<sup>2</sup>.

Fonte: Inpe (Terra Brasilis..., 2020a).

A bioeconomia amazônica consiste em atividades econômicas e comerciais que envolvem cadeias da sociobiodiversidade sustentáveis e nativas da Amazônia (Viana, 2019). Essa nova economia tem um enorme potencial para conciliar desenvolvimento econômico e conservação dessa floresta. Mais especificamente, há inúmeras oportunidades para a aplicação da biotecnologia e da química fina para a produção de biofármacos, nutracêuticos, biocosméticos, biocorantes, óleos e essências usando-se recursos florestais. Há também perspectivas para o crescimento e aprimoramento das cadeias produtivas do açaí, castanha-do-brasil, guaraná e pescado, assim como de outros alimentos originados da floresta, com a inclusão das comunidades locais visando à garantia de empregos, renda e melhoria das condições de vida dessa população.

Por sua vez, o Cerrado, nas últimas três décadas, vem sendo devastado pela expansão da fronteira agrícola para a produção de grãos e carnes. Atualmente, a sua cobertura vegetal representa cerca de 50% em relação à área original, que era de aproximadamente 2 milhões de km<sup>2</sup>. O desmatamento tem diminuído nos anos 2000, mas, mesmo assim, em 2020 ainda foram desmatados 7.300 km<sup>2</sup> (Terra Brasilis..., 2020b).

A perda da biodiversidade de organismos benéficos, a exemplo dos predadores naturais de pragas, polinizadores e micróbios do solo, em razão do uso de agrotóxicos combinado com a devastação dos habitats naturais, reduziu a capacidade dos agroecossistemas de manter o funcionamento adequado dos ciclos da natureza. Tais fatos, associados à prática predominante de monocultivos, contribuem para o aumento da ocorrência de pragas, doenças e plantas invasoras e dependência dos agrotóxicos no seu controle.

### Dependência de agroquímicos

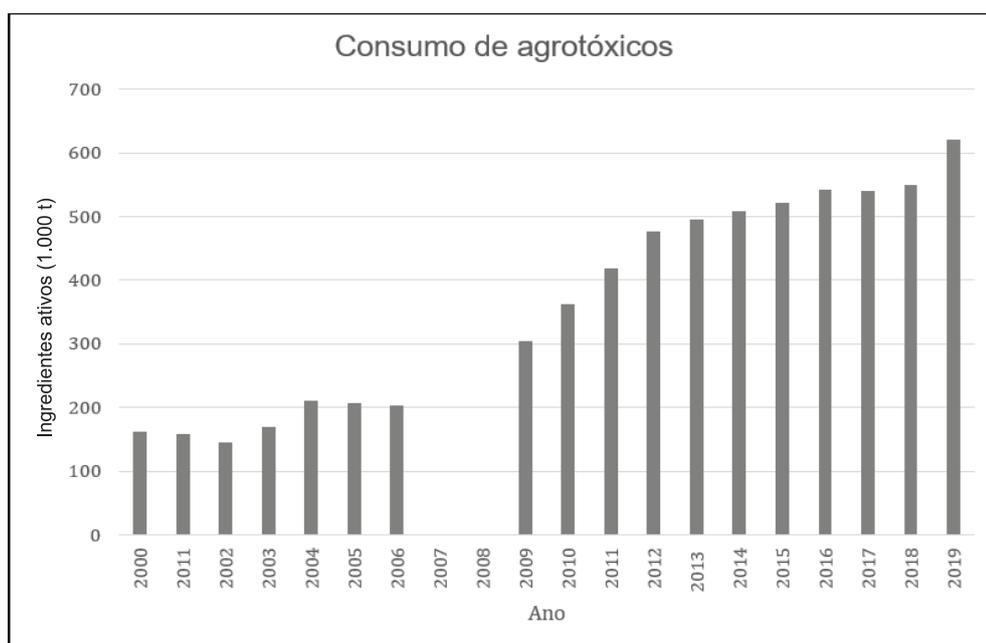
Globalmente, cerca de 2,7 milhões de toneladas de ingredientes ativos de agrotóxicos foram aplicadas em áreas agrícolas em 2015 – quase 30% menos do que o volume de 3,8 milhões de toneladas aplicadas em 2012. O consumo é maior na China e nos Estados Unidos, que utilizaram em torno de 1,8 milhão e 0,5 milhão de toneladas por ano, respectivamente, seguidos por França, Brasil e Japão (Cassou, 2018).

Embora a aplicação de agrotóxicos aumente a produtividade agrícola, o seu uso intensivo frequentemente gera um conjunto de externalidades negativas, bastante documentadas na literatura especializada. Nessa perspectiva, a dependência de agrotóxicos produz muitos efeitos indesejáveis, tais como o impacto na saúde dos trabalhadores rurais, resíduos em alimentos, ocorrências frequentes

de surtos de pragas e doenças, resistência a esses produtos por pragas, patógenos de plantas e plantas invasoras, e possível surgimento de novas pragas e doenças como a ferrugem-asiática e a mosca da haste da soja.

O uso de agrotóxicos no Brasil cresceu substancialmente a partir do início da década de 1990. Entre as dez maiores economias do mundo, países do Mercosul<sup>8</sup>, Brics<sup>9</sup> e Nafta<sup>10</sup>, o Brasil foi um dos que mais ampliou o consumo de agrotóxicos, em números absolutos, no período 1991–2015 (Moraes, 2019). De acordo com Moraes (2019, p.19) “o Brasil consumia em 1991 cerca de sete vezes menos agrotóxicos que os Estados Unidos, enquanto em 2015 as quantidades no Brasil e nos Estados Unidos foram próximas, cada um respondendo por cerca de 10% do consumo mundial”. Na medida em que o consumo desses produtos se expande no Brasil, ampliam-se os interesses tanto de grupos de produtores rurais como de produtores de agrotóxicos em evitar que as regulações se tornem mais restritivas. Essa tendência é reforçada pelo fato de o consumo desse insumo tem diminuído em vários países desenvolvidos, aumentando a importância relativa do mercado brasileiro.

O consumo de agrotóxicos no País mostrou uma tendência crescente nos últimos dez anos, como consta a Figura 2. Atualmente, estão disponíveis no mercado brasileiro 2.607 agrotóxicos formulados e registrados no Mapa, responsável pela análise da eficiência dos agrotóxicos no controle de pragas, doenças e plantas invasoras (Brasil, 2021a). A Anvisa<sup>11</sup> (2020) classifica cada produto em uma classe toxicológica que reflete a periculosidade e os riscos à saúde humana. Por sua vez, o Ibama<sup>12</sup> (2016) classifica os agrotóxicos conforme o seu potencial de danos ao meio ambiente. Constatou-se um aumento significativo de novos registros no período de 2017 a março de 2021, com mais 1.069 agrotóxicos sendo disponibilizados aos produtores, o que representa 40% do total registrado (Brasil, 2021a).



**Figura 2.** Quantidade comercializada de ingredientes ativos de agrotóxicos, por ano, em mil toneladas, no Brasil, no período 2000–2019. Fonte: elaborado a partir de Ibama (2021).

É importante destacar que até 2018, de 40% a 50% dos produtos registrados no Mapa pertenciam às classes de produtos “extremamente e altamente tóxicos”. Em 2020, cerca de 50% dos registros classificaram os agrotóxicos em uma nova categoria, a “improvável de causar dano agudo”,

<sup>8</sup> Mercado Comum do Sul.

<sup>9</sup> Bloco de países formado por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.

<sup>10</sup> Tratado de livre comércio envolvendo Canadá, México e Estados Unidos.

<sup>11</sup> Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

<sup>12</sup> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

significando que não causam morte ao se tocar, inalar ou ingerir o produto, desconsiderando qualquer outro efeito grave que possa ocasionar. Com a criação dessa nova classificação, as categorias de produtos “extremamente e altamente tóxicos”, que são as mais críticas e abrangiam cerca de metade dos agrotóxicos, agora representam apenas 6,2% desses produtos. Quanto à classificação ambiental, 82% dos agrotóxicos pertencem às categorias de “produto altamente perigoso”, “produto muito perigoso” e “produto perigoso ao meio ambiente” (Brasil, 2021a). Portanto, a grande maioria desses produtos disponíveis no mercado causa danos significativos ao meio ambiente.

A isenção de impostos contribuiu para o uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes na estratégia da modernização da agricultura com base nas diretrizes da Revolução Verde. Conforme explicitado por Brochardt (2020, p.62),

[...] a Lei nº 10.925/2004 [...] ‘reduz as alíquotas de PIS/Pasep e Cofins incidentes na importação e na comercialização do mercado interno de fertilizantes e defensivos agropecuários’; e o Convênio nº 100/97,<sup>39</sup> do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz) [...] reduz em 60% o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para agrotóxicos.

Além disso, essa renúncia fiscal representou cerca de R\$ 14 bilhões por ano (Brochardt, 2020). Os impactos na saúde foram estimados em pesquisa realizada em estabelecimentos rurais de municípios do Paraná, mostrando que, para cada dólar gasto com a compra de agrotóxicos, seria gasto US\$ 1,28 em tratamento de intoxicação aguda. O total de custos associados a esse tipo de intoxicação pode chegar a US\$ 149 milhões para o estado do Paraná (Soares & Porto, 2012 citado por Brochardt, 2020).

Por sua vez, o uso de fertilizantes sintéticos, sob os fundamentos da Revolução Verde, tem a função precípua de melhorar e manter a fertilidade dos solos, visando ao aumento da produtividade das lavouras e criações. No Brasil, o uso desse insumo apresentou uma curva crescente de utilização, com aumento de quase oito vezes na quantidade utilizada de 1970 a 2002 (Nicoletta et al., 2005). O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes, atrás da China, Índia e Estados Unidos, com a produção de grãos sendo responsável por 70% de seu consumo. Em 2018, o cultivo da soja representou 44% do consumo total de fertilizantes, seguida pelo milho, com 17% do consumo (Outlook Globalfert 2021, 2021).

As cultivares de plantas geneticamente melhoradas, em particular as híbridas, têm alta dependência de fertilizantes para poder expressar seu potencial produtivo. No entanto, a aplicação de fertilizantes nitrogenados (N), fosfatados (P) e potássicos (K) pode impactar os ecossistemas terrestres e aquáticos.

Os fertilizantes nitrogenados geralmente têm eficiência de cerca de 25% a 40%, ou seja, a maior parte do N é perdida no meio ambiente. Uma quantidade significativa desse fertilizante é convertida em nitrato, que tem o potencial de contaminar as águas subterrâneas em decorrência de sua alta mobilidade nos solos (Lenka et al., 2016).

Por sua vez, o uso frequente de fertilizantes fosfatados pode degradar a qualidade da água, provocando o processo de eutrofização, que causa o crescimento excessivo de algas e plâncton e impacta os outros organismos aquáticos em virtude da falta de oxigênio. A erosão dos solos é o principal meio pelo qual os fertilizantes fosfatados são transportados até os mananciais.

Alguns estudos registraram que a aplicação de fertilizantes, em particular os fosfáticos, aumentou o teor de metais pesados no solo. Foi relatado o aumento na concentração de alguns metais, como o cádmio, além do limite-padrão no solo para fins agrícolas como resultado do uso de fertilizantes químicos por longo período, na China e no Irã (Zhou et al., 2015; Yargholi & Azarnershan, 2014; Rahmani, 2011 citados por Lenka et al., 2016).

O manejo da saúde do solo é vital para a manutenção da biodiversidade e a salvaguarda da produção agrícola sustentável. A utilização contínua de fertilizantes químicos sintéticos é responsável

pelo declínio do conteúdo de matéria orgânica e da fertilidade natural do solo, pela poluição do ar e água, e pela redução de organismos úteis, aumentando a ocorrência de fitopatógenos e pragas (Pahalvi et al., 2021).

Como os fertilizantes sintéticos são produtos finitos e dependem de rochas naturais para a sua produção, como é o caso do fósforo e do potássio, eles requerem soluções tecnológicas para a sua substituição. No caso brasileiro, mais de 70% dos fertilizantes são importados (Outlook Globalfert 2021, 2021). A degradação dos solos, como a perda da fertilidade e a erosão, também é um fenômeno que ocorre por causa do monocultivo e das práticas e manejos inadequados da produção agropecuária. Ao contrário do que ocorre em países do Hemisfério Norte, no Brasil, 95% do rebanho bovino é criado em condições de pastagens naturais. O excesso de lotação de animais e o manejo inadequado dos pastos resultam em sua degradação. Em 2017, segundo o IBGE, de um total de 158 milhões de hectares de pastagens, 58 milhões, ou 37% do total, encontravam-se com algum grau de degradação (Silva, 2019).

### Emissão de gases do efeito estufa

O aquecimento global de 1,5 °C a 2 °C será superado durante o século XXI, a menos que reduções drásticas nas emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e em outras emissões de gases de efeito estufa ocorram nas próximas décadas (IPCC<sup>13</sup>, 2021). É a primeira vez que um relatório do IPCC, órgão das Organizações das Nações Unidas, quantifica a responsabilidade das ações humanas no aumento da temperatura na Terra. Com um maior aquecimento global, projeta-se que cada região será mais frequentemente submetida a mudanças simultâneas e múltiplas dos agentes de impactos climáticos. Cabe destacar que as mudanças em vários agentes de impacto climático seriam mais generalizadas a 2 °C em comparação com o aquecimento global de 1,5 °C.

A produção agropecuária sofre os efeitos das mudanças climáticas, com o aumento de eventos extremos como ondas de calor, chuvas fortes, ventos fortes, ciclones tropicais e secas. Com o intuito de avaliar o impacto que as mudanças climáticas teriam em cada região produtora de alimentos do globo, foram consideradas as 27 culturas alimentares mais importantes do planeta e 7 tipos de rebanhos animais utilizados para alimentação humana (Kummu et al., 2021). Países em áreas subtropicais e temperadas seriam menos afetados. Dos 177 países analisados, 52 permaneceriam em espaços “seguros” no futuro, contemplando boa parte dos países europeus. Mas, no total, o cenário mais pessimista significaria que um terço das áreas do planeta hoje ocupadas com agropecuária se tornariam improdutivas por conta das emissões de gases do efeito estufa e do aquecimento global.

De acordo com Veiga (2021), “O Brasil seria bastante afetado, sobretudo nas regiões Centro-Oeste e Nordeste”. O professor Kummu, da Universidade de Aalto, principal autor do estudo relatado por Veiga (2021), esclarece que “Em um cenário de alta emissão, grande parte do Brasil estaria fora do ambiente climático seguro”, e acrescenta “De acordo com nossas estimativas, cerca de 17% da produção agrícola brasileira de alimentos e 37% da produção pecuária podem estar fora do espaço climático seguro até o fim deste século” – isso na pior hipótese. Esclarece, ainda, que “Caso o aquecimento global se mantenha na tendência atual, ou seja, com um aumento de 3 graus Celsius, o prejuízo às áreas produtivas brasileiras seria de 6% em relação à agricultura e 22% à pecuária”.

Além disso, a produção agropecuária contribui para o aquecimento global em virtude da emissão de gases do efeito estufa. Por exemplo, nos Estados Unidos (2021), as atividades agropecuárias contribuem para as emissões de várias maneiras:

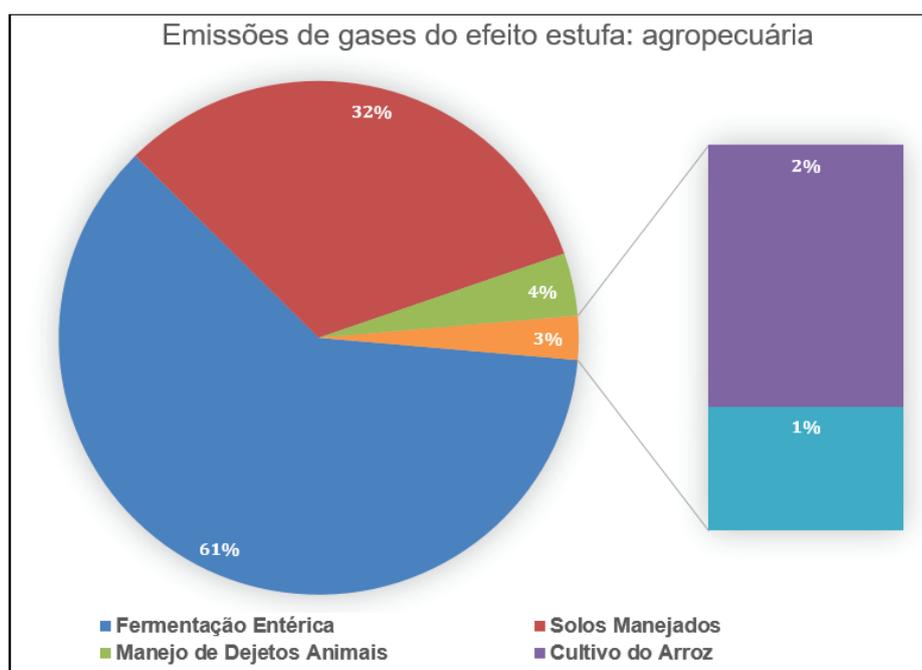
- Algumas práticas de manejo de solos agrícolas podem levar ao aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo e resultar em emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Essas práticas incluem a aplicação de fertilizantes sintéticos e orgânicos, cultivos de plantas que fixam nitrogênio atmosférico, drenagem de solos orgânicos e práticas de irrigação. A gestão dos solos

<sup>13</sup> Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.

agrícolas é responsável por pouco mais da metade das emissões de gases de efeito estufa pelo setor agropecuário, em equivalentes de CO<sub>2</sub>.

- Os bovinos produzem o gás metano (CH<sub>4</sub>) como parte de seus processos digestivos normais, os quais representam mais de um quarto das emissões do setor agropecuário americano, em equivalentes de CO<sub>2</sub>.
- A forma como o estrume da pecuária é gerenciado também pode contribuir para emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Diferentes métodos de tratamento e armazenamento do estrume afetam a quantidade produzida de gases do efeito estufa. A gestão do estrume é responsável por cerca de 12% das emissões totais de gases de efeito estufa do setor agropecuário americano, em equivalentes de CO<sub>2</sub>.
- Fontes menores de emissões incluem o CO<sub>2</sub> a partir da aplicação de calcário e ureia, CH<sub>4</sub> do cultivo de arroz e queima de resíduos de cultivos que produz CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O.

O 8º relatório do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa, elaborado pelo Observatório do Clima, mostrou que a agropecuária foi responsável por emissões diretas de equivalentes de CO<sub>2</sub> que representaram 28% do total do Brasil em 2019 (Análise..., 2020). Cerca de metade dessas emissões foram devidas às mudanças no uso da terra, e 94% destas resultaram do desmatamento. Mudanças no uso da terra somadas à produção agropecuária representaram 72% dos gases do efeito estufa emitidos pelo País em 2019. A ruminação ou fermentação entérica dos bovinos foi responsável por 61% do total emitido pela agropecuária, valor seguido por 32%, relativo às emissões causadas pelo manejo do solo e pelo uso de fertilizantes sintéticos, e aproximadamente 7% das emissões foram devidas à calagem, manejo de dejetos animais, arroz inundado e queima de resíduos vegetais, como mostra a Figura 3. Isso coloca o Brasil no 6º lugar no mundo em emissões de gases do efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento do planeta.



**Figura 3.** Emissões de gases do efeito estufa por atividades agropecuárias no Brasil, em porcentagem de equivalência em CO<sub>2</sub>.

Fonte: Análise... (2020).

Cabe observar que, enquanto, nos Estados Unidos, as maiores emissões de gases do efeito estufa pela agropecuária são devidas às práticas de manejo dos solos agrícolas, no Brasil a pecuária bovina é a maior emissora do setor agropecuário. Esse resultado se deve não somente ao fato de o rebanho bovino brasileiro, segundo o USDA (Farmnews, 2021), ser de 244,1 milhões de cabeças, enquanto o americano é de 93,8 milhões de cabeças, como também à maior idade de abate no Brasil e ao processo de criação. Nos Estados Unidos o sistema é por confinamento, com o uso de rações, enquanto no Brasil predomina o sistema extensivo em pastagens. Isso sem levar em conta que a expansão da pecuária bovina tem sido apontada como a grande responsável pelo desmatamento de vegetações naturais.

Os subsídios agrícolas e a proteção comercial parecem ter um efeito modesto sobre as emissões globais. Isso sugere que a redução substancial das amplas emissões atuais de gases do efeito estufa pela agropecuária exigirá uma revisão das estruturas de incentivos atuais para apoiar as intervenções que visem diretamente à redução de emissões, tais como impostos sobre a quantidade de emissões na produção ou repasse desses impostos aos consumidores, ou maior financiamento para P&D<sup>14</sup> em tecnologias para o aumento de produtividade e redução de emissões, subsidiando o custo de sua adoção (Laborde et al., 2021).

## DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA

Quando se trata de aprimorar e aumentar a sustentabilidade da agropecuária, deve-se contemplar a integração dos cinco princípios da sustentabilidade adotados pela FAO: aumento de produtividade; conservação e recuperação de recursos naturais; aumento de renda, aumento da qualidade de vida e inclusão social dos produtores; resiliência das comunidades e agroecossistemas em relação às mudanças climáticas; e mecanismos efetivos e responsáveis de governança (FAO, 2014).

Estão evidentes os desafios a serem vencidos quanto à produção sustentável da agricultura brasileira. Externalidades negativas não são contabilizadas, mas trazem custos sociais, éticos e ambientais adicionais e significativos. Nos mercados dos países desenvolvidos, cresce a tendência dos consumidores para saber não só a origem dos alimentos como também as questões sociais e ambientais em que acontece o processo produtivo. Por exemplo, na Europa, os consumidores questionam se os produtos oriundos do Brasil estão contribuindo para o desmatamento da Amazônia ou se envolvem o trabalho escravo. Há também a tendência de exigir informação quanto à emissão de gases do efeito estufa na produção dos alimentos. Nessas contingências, uma nova revolução agrícola está sendo delineada, a chamada “Saúde Única”.

“Saúde Única” quer dizer a aliança entre sustentabilidade, segurança alimentar e segurança sanitária na cadeia integral da produção agropecuária desde a propriedade rural até o consumidor nas cidades. O foco não é exclusivamente no aumento da produção, produtividade, lucros e acumulação, mas também nos cuidados com a sanidade humana, animal, vegetal e ambiental. Normas sanitárias e ambientais mais rígidas devem ser adotadas nas esferas nacional, regional e internacional. A origem, identidade e procedência dos produtos agropecuários serão exigências dos consumidores conscientes. O Brasil, como grande produtor e exportador de alimentos, será afetado diretamente, terá que se adaptar a esse novo tempo e precisa ser firme e transparente. Na política ambiental, o desafio é recuperar o protagonismo nos fóruns multilaterais das nações. Também se deve investir na inovação com a participação do Estado, da iniciativa privada e da sociedade. A “Saúde Única” significa um grande avanço na qualidade de vida da humanidade, contrapondo-se às recomendações unilaterais da Revolução Verde.

Tecnologias da pós-Revolução Verde encontram-se disponíveis, como a análise biológica do solo desenvolvida pela Embrapa Cerrados, que mensura a vida do solo, onde vivem microscópicos fungos, bactérias e nematoides indispensáveis na decomposição da matéria orgânica, na fixação de

<sup>14</sup> Pesquisa e Desenvolvimento.

nitrogênio, na ciclagem de nutrientes e na retenção de água, entre outras ações sustentáveis para o uso do solo. Essas tecnologias não prospectam as disponibilidades químicas do solo, mas a sua biologia e a vida microbiana do solo.

Cabe enfatizar que questões relevantes da produção agropecuária brasileira merecem respostas no curto prazo. Primeira: a Revolução Verde é sustentável no longo prazo considerando os novos papéis dos consumidores? Segunda: qual o limite de produtividade dos cultivos e criações e os custos ambientais gerados? Terceira: como incorporar, de modo integrado, os desafios ambientais, a geração de empregos, a concentração fundiária e os impactos na saúde e na nutrição, no processo da produção agropecuária? Quarta: como promover o equilíbrio entre a produção para exportação e para o mercado interno? Quinta: como acolher a agricultura familiar na produção de alimentos saudáveis para o abastecimento interno e na autonomia genética das sementes? Portanto, esses, entre outros desafios, merecem a reflexão e os devidos encaminhamentos. Por certo, exigirão mudanças estruturais nos sistemas de produção da agropecuária, por meio de políticas públicas conectadas para esse fim.

Alguns desafios na perspectiva de impulsionar a transformação da agropecuária são sugeridos:

- Reduzir ou eliminar o uso de agrotóxicos, substituindo-os por produtos microbiológicos, por variedades resistentes a pragas e doenças, e por integração de cultivos.
- Diminuir o uso de fertilizantes sintéticos com a melhoria de sua alocação no tempo e no espaço; usar biofertilizantes no solo em substituição aos fertilizantes sintéticos, associados às práticas que aumentem o teor de matéria orgânica, reduzindo assim a emissão de carbono na atmosfera.
- Conservar a qualidade e recuperar os recursos hídricos.
- Diversificar a produção agropecuária para a oferta de alimentos adequados a uma dieta equilibrada e saudável.
- Reduzir as perdas e desperdícios e promover a reutilização, reciclagem e consumo sustentável.
- Recuperar as pastagens degradadas para frear a expansão da fronteira agrícola.
- Reduzir o desmatamento e conservar a biodiversidade terrestre e dos solos, protegendo as funções dos ecossistemas e os serviços ambientais.
- Reduzir a emissão de gases do efeito estufa, principalmente aqueles oriundos do desmatamento e da pecuária bovina e fertilizantes nitrogenados.
- Conectar os agricultores familiares aos mercados locais para garantir emprego e renda.
- Adaptar os sistemas produtivos agropecuários aos efeitos das mudanças climáticas.
- Implantar programas de proteção social aos agricultores pobres para garantir renda e facilitar o acesso às tecnologias sustentáveis.
- Fortalecer os sistemas de inovação tecnológica e institucional.
- Instaurar mecanismos de diálogo e concertação de interesses entre o Estado, sociedade civil, setor privado, agricultores familiares, universidades e organizações de CT&I<sup>15</sup>.

O desenvolvimento tecnológico com investimentos em P&D de modo participativo, políticas públicas integradas e coerentes, e estruturas institucionais e de governança com apoio aos diferentes perfis de produtores agropecuários são requeridos para implementar as transformações sugeridas

<sup>15</sup> Ciência, Tecnologia e Inovação.

(Campagnolla et al., 2019). Essas políticas devem ser complementadas por outras que contribuam para valorizar e dar condições de cidadania aos trabalhadores rurais, incluindo as mulheres, como o acesso à terra e renda suficiente para uma vida digna. Para a agricultura familiar, a ênfase deve ser na agroecologia e na agricultura orgânica por incorporarem práticas e conhecimentos da agricultura sustentável. No entanto, não se trata de uma volta ao passado, mas do desenvolvimento e aprimoramento dessas práticas com o apoio das organizações de P&D e universidades. A produção da agricultura familiar deve estar voltada prioritariamente ao atendimento do consumo local, provendo alimentos diversificados, incluindo hortaliças, frutas e pequenos animais, que contribuam para uma dieta saudável da população.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não se nega que a Revolução Científica trouxe conquistas no destino da humanidade, com doenças eliminadas e vidas poupadas e alongadas. No entanto, as políticas advindas da Revolução Verde não foram suficientes para solucionar a desigualdade no campo, tampouco foram capazes, por si mesmas, de atender à maior de todas as necessidades: erradicar a fome e a desnutrição de todos os humanos (Kerr, 2012; Frison, 2016). Estudos mais detalhados são necessários para identificar e caracterizar a relação de causa e efeito da Revolução Verde na pobreza rural, fome e malnutrição, na concentração fundiária e na exclusão dos agricultores familiares. Entre 720 e 811 milhões de pessoas no mundo passaram fome em 2020, enquanto quase uma em cada três pessoas, ou seja, 2,37 bilhões, não teve acesso à quantidade adequada de alimentos (The State..., 2021).

Por sua vez, mais de 100 milhões de brasileiros e brasileiras não têm acesso pleno e permanente aos alimentos, portanto, vivem em insegurança alimentar. A fome no Brasil tem endereço. As regiões Nordeste e Norte são as mais afetadas pela fome. O índice de insegurança alimentar está acima de 60% no Norte e de 70% no Nordeste, enquanto o percentual nacional é de 55%. A insegurança alimentar grave de quase oito milhões de criaturas está concentrada no Nordeste. A fome tem gênero. Ela está presente em mais de 11% dos domicílios chefiados por mulheres, contra 8% chefiados por homens. A fome tem cor e raça. Nas residências habitadas por pretos e pardos, a fome está presente em quase 11% dos lares, enquanto para os brancos, em 7,5% dos lares. A fome tem escolaridade, estando presente em 15% dos lares em que a pessoa de referência não tem escolaridade ou tem o ensino fundamental incompleto. Mas a fome cai para 4,7% dos lares chefiados por pessoas com ensino médio completo em diante (Rede Penssan, 2021). São contrastes da persistente e cruel fome num país que colhe safras recordes de alimentos, a exemplo da safra de 275 milhões de toneladas de grãos, prevista para o ano de 2021. A fome tem solução. Ela não é uma punição divina, mas injustiça humana.

Soluções existem para alavancar a transição de sistemas produtivos agropecuários intensivos em tecnologias ricas em capital de modo a lhes conferir maior sustentabilidade. Entretanto, elas não devem ser tratadas isoladamente, mas de modo integrado e interativo, agregando os seus efeitos positivos nas vertentes econômica, social e ambiental e avaliando os conflitos e contradições. Destaque deve ser dado à coleta, tratamento digital e acesso de dados detalhados para análise e interpretação dos fenômenos naturais e socioeconômicos de cada localidade, que possibilitem a adoção de sistemas de produção sustentáveis. Esse novo modo de produzir será menos voltado ao uso de pacotes tecnológicos tradicionais, e mais ao conhecimento das suas causas e aplicação de tecnologias e práticas apropriadas a cada realidade, a exemplo da história e do modo de viver, produzir e trabalhar das populações rurais na sua diversidade social, econômica e política.

Está evidente que, embora a Revolução Verde tenha cumprido seus principais objetivos, ela não resiste aos desafios correntes e futuros. Para serem sustentáveis, os sistemas de produção agropecuários exigem o comprometimento político de longo prazo e mudanças significativas nos instrumentos financeiros de apoio, nos investimentos, nas inovações tecnológicas, na assistência técnica, na autonomia dos saberes locais, nas parcerias e na legislação, entre outros. Os negócios agropecuários

precisam estar conectados com a avaliação de seus impactos sociais, éticos e ambientais, ser adaptados às mudanças climáticas, reduzir as emissões de gases do efeito estufa e atender às demandas crescentes por alimentos saudáveis. Isso significa transformações radicais de curto prazo nas políticas públicas, nas organizações de ensino e de P&D, e no setor privado, em particular das agroindústrias, que devem produzir alimentos mais saudáveis e a um custo acessível ao maior universo populacional.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao prof. José Graziano da Silva pelo incentivo para a elaboração do presente trabalho e pelas valiosas revisões, que muito contribuíram para o seu aprimoramento.

## REFERÊNCIAS

- AMEEN, A.; RAZA, S. Green Revolution: a review. **International Journal of Advances in Scientific Research**, v.3, p.129-137, 2017. DOI: <https://doi.org/10.7439/ijasr.v3i12.4410>.
- ANÁLISE das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil:1970-2019. 2020. SEEG 8. Relatório. Disponível em: <[https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG\\_8/SEEG8\\_DOC\\_ANALITICO\\_SINTESE\\_1990-2019.pdf](https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Registro de agrotóxicos**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acessoainformacao/perguntasfrequentes/agrotoxicos/registro-de-agrotoxicos>>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- BENJAMIN, C. **Ensaio brasileiro**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistema de Agrotóxico e Fitossanitário**. 2021a. Disponível em: <<https://indicadores.agricultura.gov.br/agrofit/index.htm>>. Acesso em: 15 abr. 2021.
- BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **ComexVis**. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>>. Acesso em: 9 dez. 2021b.
- BROCHARDT, V. dos S. **Direito à informação sobre agrotóxicos**. 2020. 236p. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília.
- CAMPANHOLA, C.; STAMOULIS, K.; PANDEY, S. Sustainable agriculture and food systems: the way forward. In: CAMPANHOLA, C.; PANDEY, S. (Ed.). **Sustainable food and agriculture: an integrated approach**. Rome: FAO; London: Elsevier, 2019. p.551-555. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812134-4.00048-0>.
- CASSOU, E. **Pesticides: agricultural pollution**. Washington: World Bank, 2018. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29507>>. Acesso em: 9 dez. 2021.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Análise mensal: carne bovina**. Brasília, 2019.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Portal de Informações Agropecuárias**. 2021a. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>>. Acesso em: 20 jul. 2021.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica das safras**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=10>>. Acesso em: 9 dez. 2021b.
- DAWSON, N.; MARTIN, A.; SIKOR, T. Green Revolution in Sub-Saharan Africa: implications of imposed innovation for the wellbeing of rural smallholders. **World Development**, v.78, p.204-218, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.008>.
- ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Sources of greenhouse gas emissions**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Building a common vision for sustainable food and agriculture: principles and approaches**. Rome, 2014.
- FARMNEWS. **Maiores rebanhos de bovinos por país: perspectiva revisada para 2021**. 2021. Disponível em: <<https://www.farmnews.com.br/mercado/maiores-rebanhos-de-bovinos-por-pais-perspectiva-revisada-para-2021/>>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- FRISON, E.A. (Coord.). **From uniformity to diversity: a paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems**. [S.l.]: IPES, 2016. 94p.
- HAZELL, P.B.R. **The Asian Green Revolution**. Washington: IFPRI, 2009. (IFPRI Discussion Paper, 00911).

- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Avaliação ambiental para registro de agrotóxicos, seus componentes e afins de uso agrícola**. 2016. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/avaliacao-ambiental/avaliacao-ambiental-para-registro-de-agrotoxicos-seus-componentes-e-afins-de-uso-agricola>>. Acesso em: 16 jun. 2021.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. [**Consolidação de dados fornecidos pelas empresas registrantes de produtos técnicos, agrotóxicos e afins**]. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>>. Acesso em: 12 ago. 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas do espaço rural brasileiro**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101773>>. Acesso em: 12 ago. 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro, 2018.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.; CONNORS, S.L.; PÉAN, C.; CHEN, Y.; GOLDFARB, L.; GOMIS, M.I.; MATTHEWS, J.B.R.; BERGER, S.; HUANG, M.; YELEKÇI, O.; YU, R.; ZHOU, B.; LONNOY, E.; MAYCOCK, T.K.; WATERFIELD, T.; LEITZELL, K.; CAUD, N. (Ed.). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. [Cambridge: Cambridge University Press], 2021. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf)>. Acesso em: 12 ago. 2021.
- JOHN, D.A.; BABU, G.R. Lessons from the aftermaths of Green Revolution on food system and health. **Frontier in Sustainable Food Systems**, v.5, art.644559, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.644559>.
- KERR, R.B. Lessons from the old Green Revolution for the new: social, environmental and nutritional issues for agricultural change in Africa. **Progress in Development Studies**, v.12, p.213-229, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1177/146499341101200308>.
- KLEIN, H.S.; LUNA, F.V. **Alimentando o mundo: o surgimento da moderna economia agrícola no Brasil**. Rio de Janeiro: FGV; São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2019.
- KUMAR, P. Green Revolution and its impact on environment. **International Journal of Research in Humanities & Social Sciences**, v.5, p.54-57, 2017.
- KUMMU, M.; HEINO, M.; TAKA, M.; VARIS, O.; VIVIROLI, D. Climate change risks pushing one-third of global food production outside the safe climatic space. **One Earth**, v.4, p.720-729, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.04.017>.
- LABORDE, D.; MAMUN, A.; MARTIN, W.; PIÑEIRO, V.; VOS, R. Agricultural subsidies and global greenhouse gas emissions. **Nature Communications**, v.12, art.2601, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22703-1>.
- LENKA, S.; RAJENDIRAN, S.; COUMAR, M.V.; DOTANIYA, M.L.; SAHA, J.K. Impact of fertilizers use on environmental quality. In: NATIONAL SEMINAR ON ENVIRONMENTAL CONCERN FOR FERTILIZER USE IN FUTURE, 2016, Kalyani. **Proceedings**. Kalyani: Bidhan Chandra Krishi Viswavidyalaya, 2016.
- MACÊDO, M.M.C. **Metodologia científica aplicada**. 2.ed. Brasília: Scala, 2009.
- MACÊDO, M.M.C.; VIEIRA, P.A. Amazônia: grandeza, mistérios e desafios. **Destaque Notícias**, 1 maio 2021. Disponível em: <<https://www.destaquenoticias.com.br/amazonia-grandeza-misterios-e-desafios/>>. Acesso em: 12 ago. 2021.
- MARTINE, G. A trajetória da modernização agrícola: a quem beneficia? **Lua Nova**, n.23, p.7-37, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-64451991000100003>.
- MORAES, R.F. de. **Agrotóxicos no Brasil: padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória**. Brasília: Ipea, 2019. (Ipea. Texto para Discussão, 2506).
- NICOLELLA, A.C.; DRAGONE, D.S.; BACHA, C.J.C. Determinantes da demanda de fertilizantes no Brasil no período de 1970 a 2002. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.43, p.81-100, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032005000100005>.
- OUTLOOK GLOBALFERT 2021. Disponível em: <<https://globalfert.com.br/outlook-globalfert-2021/>>. Acesso em: 18 abr. 2021.
- PAHALVI, H.N.; RAFIYA, L.; RASHID, S.; NISAR, B.; KAMILI, A.N. Chemical fertilizers and their impact on soil health. In: DAR, G.H.; BHAT, R.A.; MEHMOOD, M.A.; HAAKEEM, K.R. (Ed.). **Microbiota and Biofertilizers: v.2: ecofriendly tools for reclamation of degraded soil environs**. Cham: Springer, 2021. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1).
- PINGALI, P. Policies for sustainable food systems. In: CAMPANHOLA, C.; PANDEY, S. (Ed.). **Sustainable food and agriculture: an integrated approach**. Rome: FAO; London: Elsevier, 2019. p.509-521. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812134-4.00045-5>.
- PINGALI, P.L. Green Revolution: impacts, limits, and the path ahead. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.109, p.12302-12308, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0912953109>.
- REDE PENSSAN. Rede Brasileira de Pesquisa em Soberania e Segurança Alimentar e Nutricional. **VIGISAN: Inquérito Nacional sobre Insegurança Alimentar no Contexto da Pandemia da Covid-19 no Brasil**. 2021. Relatório. Disponível em: <[http://olheparaafome.com.br/VIGISAN\\_Inseguranca\\_alimentar.pdf](http://olheparaafome.com.br/VIGISAN_Inseguranca_alimentar.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2021.

- SILVA, F.C. da. **Avaliação dos contratos do plano de agricultura de baixo carbono, para recuperação de pastagens degradadas, por ferramentas de MVR (monitoramento, relato e verificação)**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.
- SILVA, J.G. da. **A longa noite da fome**. 16 junho 2021. Disponível em: <<https://politica.estadao.com.br/blogs/gestao-politica-e-sociedade/a-longa-noite-da-fome/>>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- SNA. Sociedade Nacional de Agricultura. **EUA e Brasil continuam a liderar a produção de transgênicos no mundo**. 2020. Disponível em: <<https://www.sna.agr.br/eua-e-brasil-continuam-a-liderar-a-producao-de-transgenicos-no-mundo/>>. Acesso em: 3 de ago. 2021.
- TERRA BRASILIS: Amazônia Legal. 2020a. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legalamazon/rates>>. Acesso em: 12 jul. 2021.
- TERRA BRASILIS: Cerrado. 2020b. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/cerrado/increments>>. Acesso em: 12 jul. 2021.
- THE STATE of Food Security and Nutrition in the World 2021: transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Rome: FAO, 2021.
- THE STATE of the World's Forests 2020: Forests, biodiversity and people. Rome: FAO, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4060/ca8642en>.
- VAN ACKER, R.; RAHMAN, M.M.; CICI, S.Z.H. Pros and Cons of GMO Crop Farming. In: OXFORD Research Encyclopedias of Environmental Science. 2017. Disponível em: <<https://oxfordre.com/environmentalscience/view/10.1093/acrefore/9780199389414.001.0001/acrefore-9780199389414-e-217>>. Acesso em: 4 ago. 2021.
- VIANA, V. Bioeconomia amazônica: conceito, avanços e oportunidades. In: GREEN RIO, 8., 2019, Rio de Janeiro. **Apresentação**. Rio de Janeiro: Green Rio, 2019. Disponível em: <<http://greenrio.com.br/arquivos/Virgilio-Viana-Fundacao-Amazonia-Sustentavel.pdf>>. Acesso em: 9 dez. 2021.
- VEIGA, E. Como o aquecimento global ameaça a agropecuária brasileira. **Brasil de Fato**, 2021. Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/2021/05/30/como-o-aquecimento-global-ameaca-a-agropecuaria-brasileira#:~:text=O%20Brasil%2C%20seria%20bastante%20afetado,Aalto%2C%20principal%20autor%20do%20estudo>>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- VOS, R.; FAN, S. Food and agricultural systems at a crossroads: an overview. In: CAMPANHOLA, C.; PANDEY, S. (Ed.). **Sustainable food and agriculture: an integrated approach**. Rome: FAO; London: Elsevier, 2019. p.3-10.
- WEISSE, M.; GOLDMAN, E.D. **Just 7 commodities replaced an area of forest twice the size of Germany between 2001 and 2015**. Washington: World Resources Institute, 2021.
- WISE, T.A. **Old fertilizer in new bottles: selling the past as innovation in Africa's Green Revolution**. Medford: Tufts University, 2021. (Global Development and Environment Institute. Working Paper, n. 21-01).
-