

Publicação da Secretaria de Política Agrícola
do Ministério da Agricultura e Pecuária,
editada pela Embrapa

e-ISSN 2317-224X
ISSN 1413-4969
Página da revista: www.embrapa.br/rpa

Artigo

Agricultura orgânica e convencional Sustentabilidade, produtividade e clima

Resumo – A agricultura exerce um papel ambíguo diante das mudanças climáticas, sendo simultaneamente fonte de e possível solução para as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Nesse contexto, cresce o interesse por modelos de produção que conciliem viabilidade econômica, segurança alimentar e menor pegada de carbono. Este artigo revisa criticamente as evidências científicas mais recentes sobre a pegada de carbono da agricultura orgânica em comparação com a convencional. A análise considera múltiplos fatores: uso de energia, tipo de fertilização, emissões específicas de CO₂, CH₄ e N₂O, produtividade por hectare e por unidade de produto, transporte e mudanças no uso da terra. A revisão aponta que, por área cultivada, o sistema orgânico tende a emitir menos GEE, principalmente em razão da ausência de fertilizantes sintéticos e do manejo mais conservacionista do solo. No entanto, essa vantagem nem sempre se mantém quando as emissões são calculadas por quilo de alimento produzido, por causa da menor produtividade típica dos sistemas orgânicos. Conclui-se que a agricultura orgânica possui potencial relevante de mitigação climática, desde que integrada a estratégias mais amplas de eficiência no uso da terra, mudança de padrões de consumo e políticas públicas voltadas à sustentabilidade sistêmica da agricultura.

Palavras-chave: emissões de GEE, mitigação climática, pegada de carbono, sistemas agrícolas sustentáveis.

Organic and conventional agriculture: sustainability, productivity and climate

Abstract – Agriculture plays a dual role in the context of climate change, acting both as a major source of greenhouse gas (GHG) emissions and as a potential solution for climate mitigation. In this regard, growing attention has been

Marcelo Hilário Figueira Garcia ✉
Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil
E-mail: quimico@sellagro.com.br

Recebido
7/7/2025

Aceito
20/10/2025

Como citar
GARCIA, M.H.F. Agricultura orgânica e convencional: sustentabilidade, produtividade e clima. **Revista de Política Agrícola**, v.34, e02057, 2025. DOI: <https://doi.org/10.35977/2317-224X.rpa2025.v34.02057>.



Este é um artigo publicado em acesso aberto sob a
licença Creative Commons Attribution 4.0 International.

directed to production models that balance economic viability, food security, and low-carbon outcomes. This article provides a critical review of the most recent scientific evidence on the carbon footprint of organic versus conventional farming systems. The analysis encompasses multiple dimensions, including energy use, type of fertilization, specific emissions of CO₂, CH₄, and N₂O, productivity per hectare and per unit of output, transportation, and land-use change. Findings suggest that organic systems generally emit less GHG per unit area, mainly due to the absence of synthetic fertilizers and the adoption of soil-conserving practices. However, this advantage often diminishes or disappears when emissions are calculated per kilogram of food produced, owing to the typically lower yields of organic systems. The review concludes that organic farming holds relevant mitigation potential, provided it is integrated into broader strategies for land-use efficiency, dietary shifts, and public policies aimed at systemic agricultural sustainability.

Keywords: GHG emissions, climate mitigation, carbon footprint, sustainable agriculture.

Introdução

A agricultura ocupa uma posição paradoxal na atual crise climática: ao mesmo tempo em que é fortemente impactada pelos efeitos das mudanças climáticas – como alterações nos padrões de precipitação, aumento na frequência de eventos extremos e instabilidade na produtividade das culturas –, também representa uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE) no mundo. Estima-se que o setor agropecuário, incluindo uso da terra, mudanças no uso da terra e florestas, responda por cerca de 23% das emissões globais de GEE de origem antrópica, considerando tanto as emissões diretas (como CO₂, CH₄ e N₂O do solo e da fermentação entérica) quanto indiretas, como aquelas associadas à fabricação e transporte de insumos agrícolas (Kishore et al., 2024).

Diante desse cenário, cresce a pressão para que os sistemas agrícolas reduzam suas emissões líquidas, contribuindo não apenas para mitigar a mudança do clima, mas também para aumentar a resiliência das cadeias produtivas. Nesse contexto, a agricultura orgânica tem sido apontada como uma possível alternativa de baixo carbono ao sistema convencional, por promover práticas menos dependentes de insumos externos e mais integradas ao funcionamento natural dos agroecossistemas (Holka et al., 2022). A exclusão do uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos e pesticidas químicos, a valorização da matéria orgânica no solo e a diversificação produtiva conferem ao sistema orgânico um potencial teórico de mitigação climática. No entanto, essa percepção generalizada carece de uma análise mais criteriosa, especialmente quando se consideram a multiplicidade de métricas envolvidas – como emissões por hectare, por unidade de produto ou ao longo do ciclo de vida do alimento

– e as interações entre produtividade, uso da terra e fluxos de carbono no sistema alimentar global (Bronts et al., 2023).

A comparação entre os sistemas orgânico e convencional, quanto à sua pegada de carbono, revela-se, portanto, um campo de estudo complexo e repleto de nuances. A literatura recente indica que os resultados dessa comparação dependem fortemente da unidade de análise empregada, do tipo de cultura ou produto avaliado, do contexto ecológico e tecnológico da produção, bem como das escolhas metodológicas feitas pelos pesquisadores. Em termos de emissões por área cultivada, diversos estudos apontam que os sistemas orgânicos tendem a emitir menos GEE – sobretudo CO₂ e N₂O –, em razão do menor uso de insumos industriais e da maior incorporação de matéria orgânica ao solo (Holka et al., 2022; Zhao et al., 2024). Entretanto, quando as emissões são expressas em unidade de alimento produzido (quilograma de grão ou litro de leite, por exemplo), essa vantagem pode ser anulada ou até revertida, por causa do menor rendimento típico das lavouras e criações orgânicas (Bronts et al., 2023).

Esse *trade-off* entre emissões por área e por produto é central para a avaliação do papel que a agricultura orgânica pode desempenhar em estratégias de mitigação climática. Conforme Zhao et al. (2024) demonstram em sua metanálise sobre estoques de carbono no solo, os sistemas orgânicos acumulam mais carbono em média do que os convencionais, sobretudo quando há uso intensivo de adubos verdes, composto orgânico e cobertura vegetal. Ainda assim, a magnitude desse acúmulo depende da origem do carbono adicionado ao sistema. Em muitos casos, os incrementos se devem à incorporação de resíduos orgânicos exter-

nos – como esterco animal proveniente de outras propriedades –, o que levanta a questão sobre se esse carbono está sendo efetivamente removido da atmosfera ou apenas redirecionado dentro do sistema alimentar. Tal distinção tem implicações importantes para o cálculo líquido das emissões e para a definição de políticas públicas baseadas em incentivos à agricultura de baixo carbono.

Além disso, a análise do desempenho ambiental dos dois sistemas precisa considerar fatores indiretos e estruturais. Um dos principais argumentos críticos à expansão irrestrita da agricultura orgânica reside no seu desempenho produtivo relativamente inferior. De acordo com Bronts et al. (2023), os sistemas de pecuária orgânica na Europa, por exemplo, exigem mais terra por litro de leite ou quilo de carne produzidos, o que pode levar, em escala macroeconômica, à pressão por expansão da fronteira agrícola – com consequente risco de desmatamento e liberação de carbono de ecossistemas naturais. Isso ilustra como benefícios locais de emissões por hectare podem ser neutralizados ou superados por efeitos sistêmicos quando se considera a demanda global por alimentos.

Sob essa ótica, Kishore et al. (2024) reforçam que a transição para uma agricultura sustentável e climaticamente eficiente requer não apenas mudanças nas práticas produtivas, mas também transformações estruturais no sistema alimentar como um todo. Isso inclui a redução do desperdício de alimentos, a reorientação dos padrões de consumo – em particular, a diminuição do consumo de proteína animal de alta pegada de carbono – e o redesenho de políticas agrícolas e fiscais que favoreçam práticas regenerativas, sejam elas orgânicas ou não. Nesse cenário, a agricultura orgânica pode desempenhar um papel relevante, desde que associada a estratégias de intensificação sustentável e ao uso racional dos recursos naturais.

Assim, esta análise busca contribuir com o debate técnico-científico sobre as vantagens e limitações do sistema orgânico em termos de pegada de carbono, com base em evidências empíricas atualizadas e na literatura internacional recente. O objetivo principal é oferecer uma avaliação crítica e contextualizada, capaz de subsidiar decisões políticas informadas quanto à promoção de práticas agrícolas mais alinhadas com os objetivos de mitigação das mudanças climáticas. Em vez de reforçar uma dicotomia simplista entre “orgânico bom” e “convencional ruim”, propõe-se uma leitura mais

integrada e estratégica, na qual o potencial de descarbonização da agricultura depende de sinergias entre eficiência produtiva, manejo ecológico e transformação do sistema alimentar como um todo.

Desempenho ambiental de sistemas orgânicos *versus* convencionais

De forma abrangente, estudos recentes indicam que não há um sistema agrícola – orgânico ou convencional – que detenha superioridade absoluta em todas as métricas ambientais consideradas. As evidências científicas sugerem que a comparação entre esses modelos produtivos deve ser feita com cautela, respeitando as especificidades de cada sistema, cultura e região, bem como o critério de avaliação adotado.

Nesse sentido, a metanálise conduzida por Clark & Tilman (2017), baseada num extenso conjunto de dados, provenientes de 742 sistemas agrícolas distribuídos globalmente, constitui um marco importante na literatura comparativa. Os autores concluíram que, quando a análise é feita por unidade de alimento produzido, os sistemas orgânicos exibem vantagem relativa quanto ao menor consumo de energia. Contudo, essa vantagem não se estende às emissões de GEE, que se mostraram similares entre os dois sistemas, tampouco ao uso da terra, sendo este último mais elevado na agricultura orgânica. Esses resultados indicam um *trade-off* ambiental inerente à escolha do sistema de produção, sugerindo que benefícios em uma dimensão podem estar associados a custos em outra.

Complementando essa análise, numa revisão sistemática mais recente, Chiriaco et al. (2022) oferecem novas perspectivas, incorporando avanços metodológicos e dados atualizados. Segundo os autores, em média global, a agricultura orgânica emite aproximadamente 12% menos GEE por quilograma de alimento produzido e 43% menos GEE por hectare do que a agricultura convencional. Esses números reforçam a percepção de que o desempenho ambiental do sistema orgânico tende a ser mais favorável, especialmente quando se adota a terra como unidade de análise.

Entretanto, a mesma revisão destaca uma variabilidade expressiva entre os diferentes tipos de culturas analisadas. Quando as emissões de GEE são avaliadas com base na unidade de área, a agricultura orgânica causou menor impacto climático

em quase todos os casos. Mas quando a métrica adotada é a unidade de produto, cerca de 29% das comparações revelaram que a agricultura convencional apresentou emissões menores – ou seja, uma pegada de carbono relativamente mais eficiente. Tal constatação evidencia que o desempenho ambiental relativo dos sistemas agrícolas depende fortemente do contexto analisado e do indicador de referência adotado (por área cultivada ou por unidade de produção).

Diante dessa complexidade, torna-se fundamental compreender os fatores específicos que contribuem para a pegada de carbono no meio agrícola.

Uso de energia direta e indireta

Uma diferença fundamental entre os dois sistemas está no uso de energia fóssil, de forma direta (combustível em máquinas agrícolas, irrigação, aquecimento de estufas) e indireta (energia embutida na fabricação de fertilizantes, agrotóxicos, rações). A agricultura convencional, por fazer uso intenso de insumos sintéticos e maquinário pesado, consome grande quantidade de energia por hectare. Na agricultura orgânica, a ausência de fertilizantes nitrogenados sintéticos – cuja produção industrial via processo Haber-Bosch é altamente energo-intensiva – e a menor dependência de pesticidas químicos resultam numa redução substancial do consumo energético. Estimativas globais indicam que os sistemas orgânicos utilizam de 30% a 70% menos energia por unidade de área do que os sistemas convencionais (Ifoam, 2017).

Em outras palavras, a eliminação dos fertilizantes minerais e a adoção de insumos produzidos na própria fazenda (composto e esterco, entre outros) evitam a grande quantidade de energia gasta na indústria de insumos agrícolas. Do ponto de vista quantitativo, estudos de caso demonstram essa economia de energia. Uma análise citada pela Food and Agriculture Organization (FAO) mostrou que as emissões de CO₂ ligadas ao uso de energia por hectare nos sistemas orgânicos foram entre 48% e 66% menores do que nos sistemas convencionais equivalentes (FAO, 2025). Tal redução reflete tanto o menor uso de combustíveis nas operações agrícolas (menor número de aplicações de fertilizantes e pesticidas, menor preparo intensivo do solo em alguns casos) quanto, principalmente, a energia poupada por não se fabricar insumos sintéticos.

Vale notar que a produção de uma tonelada de fertilizante nitrogenado emite, em média, cerca de 2,6 toneladas de CO₂ na fábrica (Kelbel, 2024), sem contar as emissões posteriores no campo – um custo de carbono que a fazenda orgânica evita completamente. É verdade que alguns manejos orgânicos podem demandar energia adicional em certas situações. Em hortaliças, métodos alternativos de controle de plantas daninhas, como capina mecânica extra ou uso de maçaricos (flamejamento), podem elevar o consumo de combustível no campo (Ritchie et al., 2022).

Entretanto, na visão global, a balança energética favorece amplamente o sistema orgânico, já que a economia obtida ao abolir fertilizantes químicos e outros insumos industriais supera possíveis incrementos de gasto mecânico. Portanto, a pegada de carbono relacionada ao uso de energia (principalmente emissões de CO₂ de fontes fósseis) tende a ser menor na agricultura orgânica. Esse menor uso de energia é um ponto positivo do orgânico do ponto de vista climático, embora, como será visto, outros fatores possam contrabalançar esse benefício quando se consideram as emissões totais por produto (Clark & Tilman, 2017).

Emissões de gases de efeito estufa

As emissões agrícolas de GEE derivam de múltiplas fontes: o CO₂ é liberado pela queima de combustíveis e mudanças no carbono estocado no solo/planta; o CH₄ provém sobretudo da fermentação entérica de ruminantes e de cultivos alagados (arrozais); e o N₂O é emitido principalmente pelos solos agrícolas fertilizados (processos de nitrificação/desnitrificação) e pelo manejo de esterco. O desempenho dos sistemas orgânico e convencional em relação a esses gases é discutido a seguir.

Dióxido de carbono

Práticas agrícolas que aumentam ou mantêm o teor de matéria orgânica do solo ajudam a sequestrar CO₂ da atmosfera, enquanto práticas que esgotam a matéria orgânica liberam CO₂ (pela decomposição acelerada). A agricultura orgânica geralmente inclui rotações com adubos verdes, uso intensivo de composto/esterco e cobertura do solo, o que tende a elevar o carbono orgânico no solo ao longo do tempo (Chiriaco et al., 2022). De fato, experimentos de longa duração apontam que so-

los sob manejo orgânico exibem teores maiores de carbono e continuam ganhando carbono por vários anos depois da conversão do sistema convencional (Smith, 2025).

Mas há ressalvas. Parte do carbono aumentado no solo orgânico vem do acréscimo de matéria orgânica externa; por exemplo, da aplicação de esterco proveniente de criações pecuárias. Isso representa mais uma reciclagem de carbono já existente no sistema, desviando-o de potenciais emissões em esterqueiras ou lixões, do que um sequestro novo da atmosfera (Smith, 2025). Essa hipótese é comprovada por uma metanálise (Alvarez, 2021), cuja conclusão indica que a agricultura orgânica não aumenta inerentemente o carbono orgânico do solo (SOC), em comparação com a agricultura convencional, sem transferência de carbono de outros agroecossistemas. Quando o carbono é transferido, o SOC pode ser 22% maior em sistemas orgânicos. Isso sugere que a pegada de carbono da agricultura orgânica pode não ser menor do que a da agricultura convencional, a menos que o carbono externo seja utilizado, destacando a necessidade de considerar os efeitos externos nas estratégias de mitigação das mudanças climáticas relacionadas às práticas agrícolas (Alvarez, 2021).

Estudos demonstram que a pegada de carbono da agricultura orgânica é menor nas emissões líquidas de GEE do que a da agricultura convencional. No entanto, na agricultura orgânica, é maior a intensidade da pegada de carbono por quilograma de produto, por causa dos menores rendimentos. Isso indica que, embora a agricultura orgânica mitigue as emissões gerais de GEE, sua menor produtividade pode desafiar os esforços de mitigação das mudanças climáticas. Mais pesquisas são necessárias para melhorar os rendimentos em sistemas orgânicos (Arunrat et al., 2022).

Um fator de CO₂ muitas vezes ignorado nas análises de “dentro da porteira” é o desmatamento ou mudança de uso da terra para expansão agrícola. Se a menor produtividade do orgânico leva à necessidade de mais área cultivada globalmente, isso poderia induzir conversão de florestas ou pastagens em lavouras – liberando grandes quantidades de CO₂ estocado na biomassa e no solo dessas áreas. Esse efeito de “fuga de carbono” por uso de terra será discutido adiante, mas vale destacar aqui que a pegada de carbono direta do cultivo orgânico, sem considerar expansões, é inferior em CO₂ ao convencional, enquanto a pegada indireta depen-

dente de área pode inverter essa vantagem, caso novas terras sejam desmatadas.

Metano

As emissões de metano na agricultura resultam sobretudo de fontes biológicas: a fermentação entérica em ruminantes (bois, vacas, ovinos) e a decomposição anaeróbia em ambientes alagados (principalmente cultivo de arroz em várzea) ou em tanques de armazenamento de esterco líquido. Comparar os sistemas orgânico e convencional em termos de CH₄ é complexo, pois depende das práticas de manejo pecuário e de cultivo de arroz, mais do que do rótulo orgânico em si. No caso da pecuária, fazendas convencionais frequentemente usam rações concentradas e raças de alto rendimento para acelerar o ganho de peso ou a produção de leite, enquanto sistemas orgânicos tendem a adotar alimentação à base de pasto e evitar promotores de crescimento. Isso pode resultar em animais orgânicos com produtividade mais baixa ou ciclos de engorda mais longos, o que, em algumas situações, aumenta o CH₄ emitido por quilograma de produto (carne ou leite), já que o animal passa mais tempo emitindo metano para produzir a mesma quantidade de alimento (Smith et al., 2019).

Estudos no Reino Unido notaram que a produção orgânica de leite registrou menor emissão por hectare, mas maior emissão de CH₄ por litro de leite, por causa da redução do rendimento por vaca (Smith et al., 2019). As carnes de frango e suína orgânicas também tendem a ter pegada de CH₄ (e GEE total) menos favorável por quilograma, pois esses animais crescem mais lentamente e consomem mais alimento por unidade de ganho de peso em sistemas extensivos, o que faz elevar as emissões por tonelada de produto (Smith et al., 2019).

Em contrapartida, sistemas orgânicos de bovinos de corte e ovinos (carneiros) podem alcançar eficiências climáticas similares ou até melhores do que os convencionais, pois substituem o uso de fertilizante nitrogenado nas pastagens por leguminosas fixadoras de N₂, reduzindo emissões associadas a fertilizantes, sem necessariamente diminuir tanto a produtividade de carne (Smith et al., 2019). Ou seja, ruminantes a pasto em sistema orgânico podem não piorar – em alguns casos, melhoram – a relação CH₄ por quilograma de carne, ao passo que monogástricos (aves e suínos) orgânicos geralmente exibem maior pegada de GEE por quilograma,

por causa da conversão alimentar menos eficiente e menor taxa de produção.

Para o cultivo de arroz, que responde por uma parcela significativa das emissões agrícolas de metano, o impacto depende de práticas de manejo de água e solo. A agricultura convencional de arroz, muitas vezes, emprega técnicas de drenagem intermitente ou variedades de arroz de ciclo mais curto, podendo reduzir o tempo de solo anóxico produtor de CH_4 . Sistemas orgânicos de arroz, ao evitarem herbicidas, podem enfrentar dificuldades para manejar plantas daninhas sem manter o alagamento constante, o que, em alguns casos, pode aumentar o CH_4 emitido. Há registro experimental de emissões de GEE entre 36% e 65% menores em cultivos orgânicos de diversas culturas, exceto arroz, em que as emissões subiram cerca de 8% por causa do metano da inundação prolongada na opção orgânica (Aguilera et al., 2015). Esse dado pontual ilustra que o arroz orgânico pode ser um desafio em termos de CH_4 , se não forem aplicadas estratégias de mitigação, como arroz pré-germinado, cultivares adaptadas ou manejo de água eficiente.

Em suma, não há uma diferença intrínseca marcante de metano entre orgânico e convencional. Ambos os sistemas dependem de como se manejam ruminantes e arrozais. Contudo, tendências sistemáticas podem ser observadas: a pecuária orgânica, por privilegiar o bem-estar animal e o pastoreio, pode elevar o CH_4 por quilograma em leite, frango e suíno, por causa da menor produtividade; para a carne bovina/ovina, as diferenças são menores ou favoráveis ao orgânico em certas condições (Smith et al., 2019). Nos sistemas de cultivo sem animais, o CH_4 não é um fator significativo, com exceção do arroz, e, portanto, a maioria dos cultivos orgânicos e convencionais terá emissões de CH_4 semelhantes. Ambos os sistemas podem adotar medidas de mitigação de metano, como melhorias na dieta animal, captação de biogás do esterco e manejo de água em arroz.

Óxido nitroso

O óxido nitroso é um gás de efeito estufa potente e está fortemente ligado à gestão do nitrogênio na agricultura. Cada molécula de N_2O tem cerca de 300 vezes o potencial de aquecimento do CO_2 . Em sistemas convencionais, o uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados em grandes quantidades é a principal fonte de N_2O : bactérias do solo conver-

tem parte do nitrato e amônio aplicados em N_2O , especialmente quando há mais nitrogênio disponível do que as plantas conseguem absorver. De fato, a aplicação de fertilizantes químicos responde pela maioria do N_2O antropogênico liberado anualmente, contribuindo significativamente (cerca de 6%) para o aquecimento global total. (Ifoam, 2017).

Na agricultura orgânica, por definição, não se usam fertilizantes sintéticos, o que elimina essa fonte direta de N_2O . O nitrogênio para as plantas provém de fertilizantes orgânicos, como esterco, composto e farinha de ossos, e da fixação biológica via leguminosas cultivadas. Esses insumos orgânicos liberam nitrogênio de forma mais lenta e dependente das condições ambientais, em contraste com a disponibilidade imediata dos adubos químicos. Teoricamente, isso pode reduzir as emissões de N_2O , porque o nitrogênio é liberado gradualmente e sincronizado, em parte, com a demanda da cultura, diminuindo sobras sujeitas à desnitrificação. Além disso, as doses totais de nitrogênio aplicadas no orgânico costumam ser menores do que no convencional. Muitas vezes, os sistemas orgânicos são limitados em nitrogênio, que é um fator limitante de produtividade, enquanto os convencionais tendem a ser excedentários nesse nutriente, para maximizar rendimentos (Smith, 2025).

Esse balanço sugere que, por hectare, os campos orgânicos frequentemente emitirão menos N_2O do que os convencionais, simplesmente por receberem menos nitrogênio no total. Evidências experimentais confirmam em parte essa lógica. Um estudo reportou que a aplicação de esterco em dois sistemas orgânicos resultou em queda de cerca de 40% nas emissões totais de GEE, em comparação com a fertilização mineral convencional equivalente (Smith, 2025).

Observou-se também que, em sistemas convencionais que combinam adubo químico com esterco, as emissões de N_2O , e mesmo de CH_4 do solo, podem exceder as do uso apenas de fertilizante químico, por causa da saturação de nitrogênio e carbono disponível para microrganismos (Smith, 2025).

Ou seja, acrescentar esterco por cima da adubação química, prática comum em alta produtividade, piora o balanço de GEE; já substituir o adubo químico por orgânico tende a reduzir as emissões de N_2O , desde que os níveis de nitrogênio aplicados sejam menores. Em geral, o sistema orgânico é mais “econômico” no nitrogênio, minimizando exce-

dentes que viriam a escapar como N_2O ou a lixiviar. Entretanto, quando a comparação é por quantidade de alimento produzido, o quadro se torna menos claro. Como o orgânico costuma produzir menos por hectare (discutido adiante), pode ocorrer de a emissão de N_2O por tonelada colhida ser similar ou até maior nesse sistema, mesmo que, por área, seja menor. De fato, muitos estudos indicam que os ganhos e perdas se compensam: o convencional emite mais N_2O por usar muito fertilizante químico, enquanto o orgânico emite mais N_2O por tonelada, por causa do menor rendimento e pelo fato de o nitrogênio do esterco nem sempre coincidir perfeitamente com as necessidades da cultura (Ritchie et al., 2022).

Clark & Tilman (2017, p.4) apontam que as fontes de GEE nos dois sistemas tendem a se equilibrar:

sistemas convencionais produzem GEE através da fabricação e uso de fertilizantes sintéticos, algo em grande parte compensado pelas maiores emissões de N_2O da aplicação de esterco nos sistemas orgânicos (tradução nossa)¹.

Em outras palavras, no balanço por quilograma de produto, o N_2O acaba sendo equivalente em muitos casos, pois cada sistema tem uma maneira de gerar emissões. Não usar adubo químico remove uma grande fonte de N_2O , mas o orgânico não pode eliminar completamente o N_2O , porque ainda precisa fertilizar, e qualquer forma de nitrogênio disponível no solo pode formar N_2O . Além disso, a manipulação de esterco animal necessária na adubação orgânica pode levar a emissões de N_2O e CH_4 fora da lavoura, por exemplo, durante a compostagem ou estocagem de estrume antes da aplicação. Em sistemas convencionais intensivos, o esterco também é um problema, particularmente em confinamentos, mas algumas fazendas sem integração agrícola podem manejar de formas distintas, como lagunas de dejetos ou outras que produzem muito CH_4 . Já os sistemas orgânicos frequentemente integram lavoura e pecuária, aplicando o esterco nos campos – mitigando metano de lagoas, mas liberando N_2O no solo. O resultado líquido depende do manejo: técnicas como a compostagem aeróbica bem feita podem minimizar o CH_4 e o N_2O , enquan-

to aplicações de esterco fresco podem elevar as emissões no campo, temporariamente.

Em suma, a agricultura orgânica elimina a maior fonte industrial de N_2O , os fertilizantes sintéticos, e tende a emitir menos N_2O por área, mas pode ter emissões similares por unidade de produto, por causa da menor produtividade e das emissões inerentes ao uso de adubos orgânicos. Ainda assim, muitos especialistas veem vantagem no orgânico quanto ao N_2O , pois o sistema força um equilíbrio mais próximo do natural (ciclagem interna de nitrogênio, menores excessos). Não por acaso, órgãos como o International Federation of Organic Agricultural Movement (Ifoam) destacam que a agricultura orgânica reduz significativamente as emissões de N_2O , ao não usar fertilizantes químicos e adotar práticas que minimizam a perda de nutrientes. (Ifoam, 2017).

Além disso, as pegadas de carbono dos sistemas de agricultura orgânica são geralmente menores do que as da agricultura convencional, por causa da redução dos insumos de nitrogênio, que levam à diminuição das emissões de óxido nitroso. Práticas orgânicas, como rotação de culturas e reciclagem de biomassa, aumentam o sequestro de carbono do solo, mitigando ainda mais os impactos das mudanças climáticas. No entanto, permanecem desafios na quantificação precisa das emissões e na comparação dos dois sistemas. Compreender essas diferenças é crucial para o desenvolvimento de políticas e práticas eficazes que apoiem a mitigação das mudanças climáticas por meio da agricultura sustentável (Tirkey, 2024).

Uso de fertilizantes: sintéticos versus orgânicos

O tipo de adubação é um ponto central da divergência de pegadas de carbono. Fertilizantes sintéticos nitrogenados, pilar da Revolução Verde, exigem elevado consumo de energia fóssil para sua fabricação. A síntese de amônia (NH_3) a partir de N_2 do ar consome gás natural e libera CO_2 . Esse processo industrial hoje consome de 1% a 2% da energia mundial e emite grande volume de CO_2 . Em

¹ Clark & Tilman (2017, p.4): GHG emissions are similar in organic and conventional systems because of the trade-off between application of synthetic fertilizer in conventional systems and use of manure in organic systems. Indeed, while production of conventional fertilizer is energy and GHG-intensive, mismatches between nutrient availability and demand in organic systems dependent on manure increase the portion of reactive nitrogen in organic systems that turns into nitrous oxide, a potent greenhouse gas (Myhre et al 2013), causing organic and conventional systems to have similar GHG emissions.

2018, a cadeia global de produção e uso de fertilizantes nitrogenados foi responsável por aproximadamente 1,13 gigatoneladas de CO₂ equivalente em emissões, incluindo fabricação, transporte e N₂O liberado depois da aplicação (Smith et al., 2019).

Além da fabricação, a própria aplicação de fertilizantes sintéticos nos solos libera N₂O em escala massiva, conforme discutido. Portanto, a agricultura convencional carrega na sua pegada de carbono todo esse “peso” do fertilizante químico: CO₂ da fábrica + CO₂ do combustível para transporte dos insumos + N₂O gerado no campo. Já a agricultura orgânica não usa adubos sintéticos, baseando a nutrição vegetal em fontes orgânicas e na biologia do solo. Isso traz dois benefícios climáticos imediatos: 1) a eliminação das emissões industriais associadas à produção de fertilizantes – como visto, redução de até centenas de quilos de CO₂ por hectare, dependendo da dose de nitrogênio evitada; e 2) redução das emissões de N₂O no solo, pois as doses de nitrogênio disponíveis são menores e liberadas gradualmente.

Além disso, a produção orgânica frequentemente recicla nutrientes locais, evitando também as emissões de transporte de fertilizantes, que, muitas vezes, são importados de grandes distâncias para a agricultura convencional. Um produtor orgânico pode compostar esterco das suas vacas e devolvê-lo ao solo, ao passo que um produtor convencional comprará ureia ou nitrato fabricado a quilômetros de distância.

Entretanto, o uso de fertilizantes orgânicos não é isento de emissões. Esterco animal, composto orgânico e outros resíduos liberam GEE durante seu manuseio: se decompostos anaerobicamente (sem oxigênio), geram metano; se expostos no solo em certas condições, geram N₂O. O ponto positivo é que esses materiais já existiriam como resíduos na pecuária ou nas cidades, e, ao usá-los, o agricultor orgânico está aproveitando um recurso e mitigando uma fonte potencial de emissão externa. Um monte de esterco que poderia emitir CH₄ inutilmente passa a ser incorporado ao solo, onde, idealmente, mais do seu carbono vira húmus e menos vai para a atmosfera. Além disso, a fixação biológica de nitrogênio por leguminosas, como trevos, feijões e adubos verdes, é um “fertilizante natural”, que não requer combustíveis fósseis. Embora esse processo biológico libere um pouco de N₂O, pois os nódulos nas raízes exsudam nitrogênio que pode ser gasoso, ele costuma ser menos intenso do que

as emissões decorrentes de fertilizantes químicos equivalentes, especialmente porque a quantidade de nitrogênio fixada é modulada pela planta e pela associação microbiana.

Resumindo:

Sistema convencional – usa fertilizantes sintéticos, principalmente nitrogênio, que adicionam uma pegada considerável de CO₂ (fabricação) e N₂O (uso no solo). Cada quilo de nitrogênio sintético aplicado carrega emissões desde a usina até o campo.

Sistema orgânico – usa fertilização orgânica (esterco, compostos, farinhas naturais) e fixadores biológicos, cujas emissões são muito menores no preparo (nenhuma emissão industrial de CO₂) e potencialmente menores no solo, embora não nulas.

O sistema orgânico depende fortemente da disponibilidade desses insumos orgânicos, frequentemente oriundos da criação de animais, o que levanta um ponto de atenção: ampliar muito a área orgânica exigiria proporcionalmente mais fontes de adubo orgânico, possivelmente mais rebanhos para fornecer esterco, o que poderia implicar mais emissões de CH₄. Ainda assim, do ponto de vista da lavoura individual, o orgânico se destaca por fechar mais os ciclos de nutrientes e evitar a “emissão embutida” dos fertilizantes industriais. (Ifoam, 2017).

Transporte e distribuição

A fase pós-porteira da fazenda, que inclui transporte dos alimentos, processamento, embalagem, distribuição e varejo, também gera emissões, mas representa uma fração menor da pegada de carbono total dos alimentos na maioria dos casos. Globalmente, estima-se que apenas cerca de 5% das emissões do sistema alimentar vêm do transporte e aproximadamente 18%, se somarmos todas as etapas da cadeia de suprimentos, incluindo refrigeração, processamento e embalagens (Ritchie et al., 2022). Portanto, diferenças no transporte e distribuição entre orgânico e convencional tendem a ter impacto modesto em suas pegadas de carbono comparativas. Ainda assim, existem distinções potenciais: a agricultura convencional é altamente globalizada, pois seus insumos percorrem longas distâncias, e os produtos agrícolas frequentemente são comercializados em mercados internacionais.

Já a agricultura orgânica, embora também faça parte do comércio global, com café orgânico e frutas orgânicas tropicais, por exemplo, possui uma parcela significativa de produtores voltados a mercados locais e cadeias curtas, como feiras orgânicas, comunidades que sustentam a agricultura via CSA e circuitos de venda direta. Em tese, alimentos orgânicos consumidos localmente evitam longos fretes e etapas intermediárias, reduzindo as emissões de transporte e refrigeração. Além disso, o fato de o agricultor orgânico produzir seus insumos na fazenda reduz o transporte de entrada de matérias-primas, em contraste com o produtor convencional, que traz toneladas de fertilizantes e químicos de fora.

No entanto, há também casos contrários: com o crescimento da demanda, muitos alimentos orgânicos são importados de longe, fora de época, como frutas vermelhas orgânicas voando de um hemisfério a outro para atender mercados no inverno. O transporte aéreo de alimentos tem uma pegada de CO₂ altíssima, mas, felizmente, menos de 0,5% dos alimentos globais viajam de avião. Ainda assim, consumidores de orgânicos exóticos fora de estação podem, indiretamente, gerar mais emissões de transporte do que consumidores de convencionais locais. A regra geral, porém, é que a modalidade de transporte importa mais do que a distância: embarques marítimos de longa distância emitem pouco por quilograma, enquanto transporte rodoviário curto pode emitir relativamente mais. Embarcar 1 kg de abacate por navio, do México até o Reino Unido, gera apenas 0,21 kg CO₂e, cerca de 8% da pegada total do abacate (Ritchie et al., 2022). Ou seja, alimentos transportados de navio, mesmo por longas distâncias, tendem a acrescentar pouco carbono, e isso vale para orgânicos ou convencionais.

Em conclusão, não há uma diferença intrínseca nas emissões de transporte entre um produto orgânico e outro convencional equivalentes se ambos seguirem a mesma rota logística. Qualquer alimento, orgânico ou não, comercializado localmente terá emissões de transporte menores do que outro transportado internacionalmente. Políticas e preferências de mercado que incentivam cadeias curtas para orgânicos podem conferir a eles uma ligeira vantagem adicional de carbono, mas a contribuição do transporte na pegada total é relativamente pequena – cerca de 5% (Ritchie et al., 2022).

Dessa forma, quando se fala em mudança climática, faz mais diferença o que se come do que

quão longe o alimento viajou: comer menos carne de ruminantes reduz muito mais as emissões do que comprar carne orgânica em vez de convencional do mesmo lugar, pois a diferença entre tipos de alimento (vegetal ou animal) supera em ordens de grandeza o efeito dos *food miles* (Ritchie et al., 2022). Ainda assim, do ponto de vista comparativo, admitindo cenários similares de distribuição, as pegadas de carbono de orgânicos e convencionais não divergem muito nessa etapa.

Emissões por quilo de alimento produzido

A intensidade de emissões de GEE por unidade de produto é um indicador-chave para a comparação da sustentabilidade de sistemas produtivos, como quilograma de CO₂e por quilograma de grão ou litro de leite. Esse indicador relaciona as emissões totais do sistema à produtividade atingida. Aqui surge um ponto crucial: a produtividade da agricultura orgânica geralmente é menor do que a da convencional. Diversos estudos e metanálises documentam um *gap* de produtividade entre os dois sistemas. Em nível global, as lavouras orgânicas produzem em média cerca de 20% menos do que as convencionais, embora haja variação por cultura e por local. A diferença pode ser mínima em leguminosas e culturas perenes, e maior em cereais de alto uso de nitrogênio, podendo chegar a 30% ou mais em alguns casos (Yang, 2014; Smith et al., 2019).

Essa diferença de rendimento significa que, para a mesma quantidade de alimento, o sistema orgânico pode precisar de aproximadamente 25% a mais de área e, mesmo que emita menos por hectare, acabará emitindo um total semelhante. Conforme discutido anteriormente, o sistema orgânico, por hectare, quase sempre emite menos GEE total, graças ao menor uso de energia fóssil e de fertilizantes. Entretanto, quando se considera o quilo de alimento, a vantagem pode ser atenuada ou perdida por causa do menor *output*. Estudos de síntese refletem isso: Chiriaco et al. (2022) encontraram uma redução média de 12% nas emissões por unidade de produto no orgânico. Ou seja, em termos globais, 1 kg de alimento orgânico causa, em média, 0,88 vez as emissões de 1 kg do alimento convencional equivalente – uma melhoria modesta, mas positiva. Já Clark & Tilman (2017) concluíram que as emissões por quilograma eram estatística-

mente similares nos dois sistemas, dadas a variabilidade e compensações envolvidas.

De fato, há casos em que o orgânico registra pegada climática maior por quilograma: na compilação de Chiriaco et al. (2022), quase 30% dos pares comparados revelaram vantagem do convencional em GEE por produto. Esses casos usualmente envolvem situações de baixa produtividade orgânica, por causa de pragas e restrição de nutrientes, por exemplo, em que as emissões evitáveis com insumos não compensam a queda de rendimento.

A diferença varia conforme o tipo de alimento:

- Frutas, hortaliças e leguminosas tendem a gerar pegada de carbono igual ou menor no orgânico, por quilograma. Isso ocorre porque muitas hortaliças e frutas convencionais demandam insumos e energia intensivos, enquanto, no orgânico, essas culturas podem prosperar com menos N_2O e CO_2 . Além disso, leguminosas, como feijões, ervilhas e lentilhas, já fixam seu próprio nitrogênio e, então, a vantagem do convencional com fertilizante é pequena; estudos indicam que não há diferença significativa nas emissões, por quilo de leguminosas, entre o orgânico e o convencional, já que os rendimentos são similares. O orgânico ganha pelo menor uso de energia, e o convencional não tem muito a economizar nessa cultura (Yang, 2014).
- Cereais e tubérculos, como trigo, milho, arroz e batata, frequentemente geram emissões, por quilograma, menores no convencional. Esses cultivos respondem fortemente à adubação nitrogenada e, no convencional, alcançam produtividades muito altas, suportadas por fertilizantes e variedades melhoradas, diluindo as emissões por tonelada. No orgânico, os cereais sofrem maior penalização de rendimento (cerca de 30% menos), o que faz a pegada por quilograma, às vezes, ficar maior, apesar de as emissões por hectare serem menores. Yang (2014) e Ritchie et al. (2022) recomendam que, para reduzir os GEE, deve-se preferir cereais convencionais aos orgânicos, sinalizando que, nesse grupo, o convencional sai ligeiramente melhor na média dos casos avaliados.

- Produtos de origem animal tendem a resultar, no agregado, em pegada de carbono, por quilograma de proteína, menor em sistemas convencionais intensivos do que em orgânicos. Como explicado, um animal de alto desempenho produz mais em menos tempo, emitindo relativamente menos CH_4 e N_2O por quilograma. Assim, para reduzir emissões, seria melhor consumir leite, ovos e carnes convencionais do que orgânicos na média global, segundo a análise de impacto relativo. Contudo, vale lembrar que a diferença entre consumir ou não certos alimentos, especialmente carne vermelha, é muito maior do que entre consumi-los em versão orgânica ou não (Ritchie et al., 2022). Em termos absolutos, comer 1 kg de carne de boi, orgânica ou convencional, emite dezenas de kg de CO_2e , ao passo que 1 kg de feijão orgânico ou convencional emite menos de 1 kg CO_2e (Ritchie et al., 2022).

Em resumo, as emissões por quilo de alimento produzido são geralmente comparáveis entre orgânico e convencional, com vantagem para o orgânico na média global, até 15% menos CO_2e/kg (Chiriaco et al., 2022). Contudo, a diferença é dependente da cultura e do contexto: alimentos que requerem muito nitrogênio, como cereais e pastagens, tendem a favorecer o convencional em intensidade de emissões por quilograma, enquanto alimentos menos dependentes de insumos ou de crescimento lento tendem a favorecer o orgânico (Ritchie et al., 2022).

Os dados comparativos globais refletem essa variabilidade e mostram muitos *trade-offs*: a opção orgânica reduz a energia fóssil e as emissões diretas, mas aumenta o uso de terra; já a opção convencional maximiza a produtividade, diluindo emissões, mas com altos insumos. Por isso, não é correto afirmar que o “orgânico sempre tem pegada de carbono menor”. Em muitos casos, sim, e a diferença raramente é enorme, sem considerar outros fatores, como biodiversidade e toxicidade, em que o orgânico tem vantagens não capturadas pelo carbono.

Implicações para a mitigação das mudanças climáticas

Dadas as diferenças expostas, o que elas implicam para estratégias de mitigação do clima? Em outras palavras, adotar mais agricultura orgânica ajuda a combater o aquecimento global? A resposta exige ponderar ganhos e perdas em diferentes escalas. No nível da fazenda individual, as práticas orgânicas claramente apontam caminhos de mitigação: menor uso de combustíveis fósseis e fertilizantes industriais significa redução imediata de emissões de CO₂ e N₂O, e maiores retornos de matéria orgânica ao solo significam sequestro de carbono, pelo menos temporário, na biomassa e solo. Essas mudanças tornam os agroecossistemas orgânicos mais eficientes em termos de carbono por hectare – até 50% menos GEE por área cultivada (Chiriaco et al., 2022).

Assim, do ponto de vista de políticas climáticas, promover práticas orgânicas pode, sim, reduzir as emissões diretas do setor agrícola. Estima-se que, se 10 mil fazendas convencionais adotassem manejo orgânico de solo e eliminação de fertilizantes sintéticos, a redução de emissões de GEE seria significativa em escala regional, com economia de milhares de toneladas de CO₂e, variando com o contexto. Além disso, a resiliência climática das fazendas orgânicas tende a ser maior, pois solos com mais matéria orgânica retêm mais água, e a biodiversidade funcional controla pragas sob condições adversas. Isso é uma vantagem adaptativa importante e, embora seja mais relacionado à adaptação do que à mitigação, vale notar que sistemas resilientes evitam perdas extremas de safra e desperdícios, o que, indiretamente, evita emissões por comida produzida em vão. Contudo, no nível global, entra em jogo o dilema do rendimento. Se toda a produção migrasse para sistemas orgânicos com 20%–30% menos produtividade, haveria duas opções: aceitar uma produção menor, incompatível com a crescente demanda por alimentos, ou compensar expandindo a área agrícola. A expansão quase inevitavelmente significaria desmatamento ou conversão de ecossistemas naturais em lavouras, liberando enormes estoques de carbono e diminuindo sumidouros naturais. Estudos de modelagem ilustram bem esse ponto. Uma análise do cenário hipotético de converter 100% da agri-

cultura da Inglaterra e País de Gales em orgânica projetou queda de cerca de 40% na produção total de alimentos (em energia metabolizável) e necessidade de importar alimentos para suprir a diferença (Smith et al., 2019).

Inicialmente, apenas contabilizando as fazendas, haveria redução de cerca de 8% das emissões agrícolas domésticas de GEE, por causa do manejo orgânico mais limpo. Porém, incluídas as emissões resultantes da mudança de uso da terra no exterior para produzir o que faltou, já que outros países desmatariam ou intensificariam o cultivo para exportar comida ao Reino Unido, o balanço se inverteu: dependendo do cenário, as emissões líquidas subiriam entre 21% e 56% acima do *baseline* (Smith et al., 2019). No pior caso, de muita conversão de pastagens em lavouras globalmente e baixo sequestro de carbono no solo, a agricultura 100% orgânica no Reino Unido poderia resultar em 1,7 vez mais emissões globais do que o sistema convencional original – um *trade-off* claramente desfavorável para o clima. Só em cenários otimistas de uso de terras, como usar terras de pastagem ociosa com altas taxas de sequestro de carbono, as emissões ficariam equivalentes às do cenário convencional (Smith et al., 2019). A conclusão dos autores foi enfática: “a ampla adoção de práticas orgânicas levaria a um aumento líquido das emissões de GEE devido aos menores rendimentos e à necessidade de produção adicional com mudanças de uso da terra” (Smith et al., 2019, p.6, tradução nossa)².

Em outras palavras, olhando para o sistema alimentar global como um todo, simplesmente converter tudo para orgânico hoje, sem outras mudanças, poderia elevar as emissões líquidas, a menos que se conseguisse evitar a expansão agrícola. Isso ressalta que a pegada de carbono relativa orgânico *versus* convencional não pode ser analisada isoladamente da questão da produtividade e do uso da terra. Para que a agricultura orgânica seja uma solução climática em grande escala, estratégias complementares são necessárias:

Aumento da produtividade do orgânico – Investir em pesquisa agroecológica, melhoramento de variedades adaptadas, técnicas como consórcio, rotação intensiva e manejo eficiente de nutrientes (micorrizas, biofertilizantes), para reduzir o *gap* de rendimento (Yang, 2014).

² Smith et al. (2019): The results show that widespread adoption of organic farming practices would lead to net increases in GHG emissions as a result of lower crop and livestock yields and hence the need for additional production and associated land use changes overseas.

Mudança de dietas e redução do desperdício – Grande parte das terras agrícolas hoje serve para produzir ração animal ou se perde em desperdício pós-colheita. Reduzir o consumo de carne, especialmente de ruminantes, e melhorar a eficiência da cadeia diminuem a demanda por terras e liberam áreas para se produzir de forma mais extensiva/ambiental, sem a necessidade de desmatar. A redução do consumo de carne vermelha constitui uma medida de mitigação climática muito mais efetiva do que a conversão de sistemas de cultivo (Smith et al., 2019).

Cenário de população com dieta mais baseada em vegetais – Esse contexto facilitaria uma agricultura majoritariamente orgânica, pois a área atual poderia alimentar mais gente com menos emissões, dada a enorme diferença de eficiência entre a proteína animal e a vegetal.

Aproveitar terras de baixa oportunidade de carbono – Priorizar a expansão de sistemas orgânicos em áreas já desmatadas ou degradadas, ou integrar sistemas que conciliem produção e cobertura arbórea, evitando emissões e até sequestrando carbono adicional.

Políticas de incentivo e precificação de carbono – Se houvesse um preço significativo sobre as emissões, via impostos ou mercado de carbono, as vantagens latentes do orgânico poderiam se converter em benefícios econômicos, estimulando a adoção de tecnologias de baixo carbono no convencional – fertilizantes de liberação controlada, agricultura de precisão – e no orgânico, como o biogás de esterco. Soluções não excludentes, portanto: o convencional pode reduzir suas emissões adotando práticas regenerativas, e o orgânico pode aumentar sua produtividade com inovações, caminhando ambos para um meio-termo sustentável.

Considerações finais

Não existe uma abordagem ótima universal, pois a sustentabilidade agrícola deve ser vista de forma contextual e multifatorial. Em certas regiões, ou para certos produtos, o orgânico trará claras reduções de emissões e benefícios ecológicos. Em outras situações, práticas convencionais melhoradas podem produzir mais alimento numa área menor, poupando ecossistemas. Provavelmente, a solução para alimentar o mundo e mitigar a mudança do clima envolve combinar o melhor dos dois sistemas: aumentar a eficiência no uso de insumos e

terra, características do convencional, e aumentar a ciclagem interna de nutrientes, o carbono no solo e a biodiversidade (características do orgânico). Em termos de políticas climáticas, incentivar a agricultura orgânica pode ser uma peça importante do quebra-cabeças, desde que atrelada a medidas de apoio, como programas de extensão para otimizar rendimentos orgânicos, incentivos a agricultores que conservam carbono no solo e integração com políticas de segurança alimentar, para evitar que a menor produtividade pressione por desmatamento. Também é crucial considerar os cobenefícios: a agricultura orgânica contribui para a proteção da biodiversidade, redução de poluição por pesticidas e melhoria da saúde do solo, benefícios que não têm preço de carbono, mas que reforçam a resiliência dos sistemas agrícolas e ecossistemas. O próprio IPCC ressalta que sustentabilidade no uso da terra traz ganhos múltiplos.

Assim, mesmo que, em termos estritamente de CO₂ por quilograma, nem sempre o orgânico vença, seus benefícios ambientais paralelos podem justificar sua promoção como parte de uma estratégia climática holística. Em conclusão, a diferença de pegada de carbono entre agricultura orgânica e convencional não é absoluta, mas dependente de condições e escalas. No nível de campo, o sistema orgânico tende a emitir menos GEE e consumir menos energia, contribuindo positivamente para a mitigação. No nível global, a menor produtividade orgânica é o ponto crítico. Sem mudanças estruturais no sistema alimentar, uma conversão total para orgânicos poderia resultar em emissões indiretas substanciais por uso da terra.

Logo, a lição para a mitigação climática é: simplesmente trocar “convencional por orgânico” não é uma panaceia, mas integrar práticas orgânicas – reduzir insumos sintéticos, aumentar matéria orgânica do solo, diversificar culturas – é essencial para descarbonizar a agricultura. A resposta está em sistemas alimentares sustentáveis, que incluam orgânico, agroflorestal, integração lavoura-pecuária, agricultura de baixo carbono e, principalmente, mudanças no consumo. Uma agricultura orgânica fortalecida e produtiva, combinada com menor desperdício e dietas equilibradas, poderá alimentar a população com emissões muito inferiores às do sistema atual, cumprindo um papel-chave no esforço de limitar o aquecimento global. Em suma, orgânico e convencional não devem ser vistos como opostos irreconciliáveis, mas, sim, como fontes de práticas complementares para atingirmos

uma agricultura de baixo carbono e alta eficiência ambiental, requisito indispensável para mitigar as mudanças climáticas.

Referências

- AGUILERA, E.; GUZMÁN, G.; ALONSO, A. Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. I. Herbaceous crops. *Agronomy for Sustainable Development*, v.35, p.713-724, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0267-9>.
- ALVAREZ, R. Organic farming does not increase soil organic carbon compared to conventional farming if there is no carbon transfer from other agroecosystems. A meta-analysis. *Soil Research*, v.60, p.211-223, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR21098>.
- ARUNRAT, N.; SEREENONCHAI, S.; CHAOWIWAT, W.; WANG, C.; HATANO, R. Carbon, nitrogen and water footprints of organic rice and conventional rice production over 4 years of cultivation: a case study in the lower North of Thailand. *Agronomy*, v.12, art.380, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12020380>.
- BRONTS, S.; GERBENS-LEENES, P.W.; GUZMÁN-LUNA, P. The water, land and carbon footprint of conventional and organic dairy systems in the Netherlands and Spain. A case study into the consequences of ecological indicator selection and methodological choices. *Energy Nexus*, v.11, art.100217, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100217>.
- CHIRIACÒ, M.V.; CASTALDI, S.; VALENTINI, R. Determining organic versus conventional food emissions to foster the transition to sustainable food systems and diets: Insights from a systematic review. *Journal of Cleaner Production*, v.380, art.134937, 2022.
- CLARK, M.; TILMAN, D. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, v.12, art.064016, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6cd5>.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The role of agriculture in the carbon cycle**. Disponível em: <<https://www.fao.org/4/y4137e/y4137e00.htm#TopOfPage>>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- HOLKA, M.; KOWALSKA, J.; JAKUBOWSKA, M. Reducing carbon footprint of agriculture—can organic farming help to mitigate climate change? *Agriculture*, v.12, art.1383, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12091383>.
- IFOAM. Organics International. **Organic agriculture countering climate change**. 2017. Disponível em: <<https://www.ifoam.bio/organic-agriculture-countering-climate-change>>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- KELBEL, G. Understanding fertilizer emissions for carbon regulation. *Carbono Chain*, 2024. Disponível em: <<https://www.carbonchain.com/blog/understand-your-synthetic-fertilizer-emissions#:~:text=regulations%20www,tonnes%20of%20CO2e%20are>>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- KISHORE S.M.; RENUKASWAMY, N.S.; KAVYA, D.; VISHNU PRIYA KATHULA, K.; ARUNA, K.; ABHISHEK, V. Addressing climate change: the role of agriculture in greenhouse gas mitigation. *Asian Research Journal of Agriculture*, v.17, p.731-739, 2024. DOI: <https://doi.org/10.9734/arja/2024/v17i4581>.
- RITCHIE, H.; ROSADO, P.; ROSER, M. Environmental impacts of food production. *OurWorldinData.org*, 2022. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- SMITH, A. Mitigating emissions and adapting to climate change through regenerative organic agriculture. *Perry World House*, May 8 2025. Disponível em: <<https://perryworldhouse.upenn.edu/news-and-insight/mitigating-emissions-and-adapting-to-climate-change-through-regenerative-organic-agriculture/>>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- SMITH, L.G.; KIRK, G.J.D.; JONES, P.J.; WILLIAMS, A.G. The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. *Nature Communications*, v.10, art.4641, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12622-7>.
- TIRKEY, R.S. The role of organic farming for climate change mitigation and sustainable development: a review. *International Journal for Multidisciplinary Research*, v.6, p.1-8, 2024. DOI: <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i04.26493>.
- YANG, S. Can organic crops compete with industrial agriculture. *UC Berkeley News home*, 2014. Disponível em: <<https://news.berkeley.edu/2014/12/09/organic-conventional-farming-yield-gap/>>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- ZHAO, T.; KUBOTA, H.; HERNANDEZ-RAMIREZ, G. Contrasting soil organic carbon concentrations and mass storage between conventional farming and organic farming: a meta-analysis. *Sustainability*, v.16, art.11260, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su162411260>.