

Avaliações de Impactos Ambientais para a produção Agroecológica

Alisson Abreu Viana¹, Guilherme Gonçalves de Cristo Oliveira²

A agroecologia é uma abordagem sustentável para a produção agrícola que busca minimizar os impactos ambientais, integrando práticas ecológicas e socioeconômicas. Avaliar os impactos ambientais da produção agroecológica é fundamental para garantir a preservação dos ecossistemas e promover a segurança alimentar. Este estudo visa revisar as metodologias empregadas na avaliação dos impactos ambientais na produção agroecológica, destacando suas contribuições para a sustentabilidade agrícola. As ferramentas de análise, como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o Indicador de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA), serão abordadas para ilustrar a complexidade dessas avaliações. Os resultados indicam que a produção agroecológica, quando adequadamente gerenciada, pode reduzir significativamente a degradação do solo, o consumo de água e a emissão de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: Agroecologia. Impacto ambiental. Avaliação. Sustentabilidade. Agricultura.

Environmental Impact Assessments for Agroecological Production

Agroecology is a sustainable approach to agricultural production that seeks to minimize environmental impacts by integrating ecological and socioeconomic practices. Assessing the environmental impacts of agroecological production is essential to ensure the preservation of ecosystems and promote food security. This study aims to review the methodologies used to assess the environmental impacts of agroecological production, highlighting their contributions to agricultural sustainability. Analysis tools such as Life Cycle Assessment (LCA) and the Sustainability Indicator in Agroecosystems (ISA) will be addressed to illustrate the complexity of these assessments. The results indicate that agroecological production, when properly managed, can significantly reduce soil degradation, water consumption and greenhouse gas emissions.

Keywords: Agroecology. Environmental impact. Assessment Sustainability. Agriculture.

Autor para correspondência:

Guilherme Gonçalves de Cristo Oliveira, Armelindo Trombini 3486.

E-mail: guilhermecristo-oliveira@gmail.com

Declaração de Interesses:

Os autores certificam que não têm nenhum interesse comercial ou associativo que represente um conflito de interesses em conexão com o manuscrito

¹ UEM – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, PR, BRASIL. 0009-0004-2167-7632

² CENTRO UNIVERSITÁRIO INTEGRADO, PR, BRASIL. 0009-0007-5516-5493

INTRODUÇÃO

A agroecologia emerge como uma alternativa aos sistemas convencionais de agricultura, promovendo a integração de princípios ecológicos nos sistemas agrícolas (Altieri, 2018). A busca por práticas sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de metodologias para avaliar os impactos ambientais das atividades agroecológicas. Segundo Gliessman (2020), a agroecologia vai além da produção de alimentos, abordando questões socioeconômicas e ecológicas para garantir um equilíbrio sustentável. Assim, a avaliação de impactos ambientais torna-se uma ferramenta essencial para mensurar os benefícios e desafios dessas práticas. Esse artigo tem como objetivo revisar as principais metodologias aplicadas na avaliação de impactos ambientais em sistemas agroecológicos, evidenciando sua importância para a sustentabilidade agrícola. A agroecologia tem sido amplamente reconhecida como uma abordagem inovadora e sustentável para o desenvolvimento agrícola, caracterizando-se por integrar princípios ecológicos na gestão dos sistemas de produção, com foco em práticas que buscam minimizar os impactos ambientais e promover a equidade social (Altieri, 2018). Em um mundo em que os sistemas agrícolas convencionais têm gerado diversos problemas ambientais, como a degradação do solo, a contaminação de recursos hídricos e a perda de biodiversidade, a adoção de práticas agroecológicas surge como uma alternativa necessária e viável para a manutenção dos ecossistemas e para a produção de alimentos em bases sustentáveis (Gliessman, 2020).

A produção agroecológica, ao contrário dos modelos industriais de agricultura, baseia-se em princípios que consideram a complexidade dos agroecossistemas, enfatizando a biodiversidade e a resiliência dos sistemas naturais. De acordo com Caporal e Costabeber (2017), a agroecologia promove uma integração entre conhecimento científico e saberes tradicionais, valorizando as práticas dos agricultores familiares e as especificidades de cada ambiente local. A agroecologia não é apenas uma técnica, mas um conjunto de práticas e uma filosofia que promove a sustentabilidade, o respeito à biodiversidade e o fortalecimento de redes sociais de produção e consumo. A avaliação de impactos ambientais para a agroecologia é uma ferramenta essencial para garantir que essas práticas sejam, de fato, sustentáveis. Segundo Zortea et al. (2019), essa avaliação envolve uma análise cuidadosa das diferentes etapas do ciclo produtivo, desde a preparação do solo até a colheita, incluindo a gestão de resíduos e o uso de insumos. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma das metodologias mais utilizadas nesse contexto, pois permite quantificar os impactos ambientais ao longo de todo o processo produtivo, mensurando desde o consumo de recursos naturais até a geração de poluentes e gases de efeito estufa (Silva & Cunha, 2018). A ACV oferece uma visão holística do impacto da produção, contribuindo para identificar as etapas mais críticas e propor melhorias que tornem os sistemas mais eficientes e menos agressivos ao meio ambiente.

Além da ACV, outros indicadores de sustentabilidade, como o Indicador de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA), têm sido utilizados para mensurar a sustentabilidade das práticas agrícolas. Segundo Silva e Cunha (2018), o ISA oferece uma avaliação multidimensional, que abrange os aspectos ambientais, econômicos e sociais dos agroecossistemas. Essa abordagem integrada permite que os agricultores e formuladores de políticas públicas identifiquem as áreas que precisam de intervenções mais urgentes e que se possa monitorar o progresso na implementação de práticas agroecológicas.

Outro ponto importante a ser considerado é o impacto socioeconômico da agroecologia, especialmente em comunidades rurais e de pequenos produtores. Conforme argumentado por Gliessman (2020), a agroecologia não apenas melhora a qualidade do ambiente, mas também fortalece a economia local ao promover uma maior autonomia dos

agricultores e reduzir a dependência de insumos externos, como fertilizantes e pesticidas químicos. Caporal e Costabeber (2017) destacam que, ao adotar práticas agroecológicas, os agricultores conseguem diversificar suas produções, melhorando a segurança alimentar e reduzindo os riscos associados à monocultura. Além disso, os sistemas agroecológicos tendem a ser mais resilientes às mudanças climáticas, uma vez que a biodiversidade aumenta a capacidade de resposta dos agroecossistemas a eventos extremos, como secas e inundações (Altieri, 2018).

No entanto, apesar dos benefícios claros da agroecologia, a implementação dessas práticas em larga escala ainda enfrenta desafios significativos. Entre os principais obstáculos estão a falta de políticas públicas que incentivem a transição para sistemas agroecológicos e a necessidade de maior investimento em pesquisa e capacitação técnica para os agricultores (Gliessman, 2020). Além disso, é necessário um esforço maior na adaptação das metodologias de avaliação de impactos ambientais para contextos locais e regionais, visto que muitos dos indicadores utilizados são derivados de estudos realizados em contextos industriais, que nem sempre refletem as particularidades dos sistemas agroecológicos (Zortea et al., 2019).

Diante desses desafios, a pesquisa sobre avaliação de impactos ambientais na agroecologia torna-se ainda mais relevante, especialmente no Brasil, onde há uma diversidade de ecossistemas e práticas agrícolas. Segundo Silva e Cunha (2018), o desenvolvimento de indicadores específicos para a realidade agroecológica brasileira é fundamental para garantir que as avaliações sejam precisas e que reflitam a realidade dos agricultores familiares. Nesse sentido, este estudo busca contribuir para a compreensão dos métodos de avaliação de impacto ambiental na produção agroecológica, explorando suas potencialidades e limitações.

Ao longo deste artigo, serão discutidas as principais metodologias utilizadas para a avaliação de impactos ambientais em sistemas agroecológicos, com ênfase na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e no Indicador de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA). Além disso, serão analisados estudos de caso que exemplificam como essas metodologias têm sido aplicadas no Brasil e em outras regiões do mundo, contribuindo para uma visão mais ampla dos desafios e oportunidades na transição para uma agricultura mais sustentável.

MÉTODO

O presente estudo utiliza uma abordagem com base em uma revisão bibliográfica abrangente de estudos anteriores sobre avaliações de impactos ambientais na produção agroecológica. Foram analisados artigos, teses e relatórios publicados nos últimos dez anos, com ênfase nas metodologias utilizadas, como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA) e o método de Pegada Ecológica. Além disso, foram incluídos estudos de caso que abordam a implementação dessas metodologias em diferentes regiões agrícolas do Brasil e do mundo.

A avaliação de impactos ambientais na produção agroecológica requer uma abordagem metodológica robusta e multidisciplinar, que seja capaz de integrar diferentes dimensões de análise, como a ecológica, social e econômica (Mäder et al., 2002). Para tanto, este estudo emprega uma revisão bibliográfica qualitativa, com foco nas principais metodologias adotadas na avaliação dos impactos ambientais em sistemas agroecológicos. A revisão foi realizada a partir da análise de artigos científicos, livros e relatórios técnicos publicados nos últimos dez anos, com ênfase nas metodologias de Avaliação do Ciclo de

Vida (ACV), Indicadores de Sustentabilidade, e o método de Pegada Ecológica, todos amplamente utilizados em diferentes contextos produtivos.

A primeira etapa do estudo consistiu na seleção de fontes bibliográficas em bases de dados como Scielo, Web of Science e Google Scholar, utilizando os termos de busca: “avaliação de impactos ambientais”, “produção agroecológica”, “Avaliação do Ciclo de Vida” e “sustentabilidade”. As publicações selecionadas passaram por uma triagem criteriosa, de acordo com sua relevância para o tema e com a qualidade metodológica dos estudos apresentados. Apenas os artigos que aplicavam metodologias de avaliação em contextos agroecológicos ou comparavam práticas agroecológicas com sistemas convencionais foram incluídos na revisão (Dalgaard et al., 2003).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi uma das principais metodologias analisadas. A ACV é uma ferramenta que permite a avaliação dos impactos ambientais ao longo de todas as fases de um processo produtivo, desde a extração de recursos naturais até o descarte de resíduos (Guinée, 2002). Esta metodologia é amplamente utilizada na agricultura, uma vez que permite identificar os pontos críticos de impacto, como o consumo de energia, o uso de água e a emissão de gases de efeito estufa. No contexto agroecológico, a ACV pode ser adaptada para incluir indicadores que sejam mais apropriados para os sistemas diversificados e de menor escala, característicos da agroecologia (Nemecek et al., 2011). Durante o processo de revisão, observou-se que estudos aplicados a sistemas agroecológicos tendem a mostrar uma redução significativa nos impactos ambientais em comparação com sistemas convencionais, especialmente no que tange à diminuição da dependência de insumos externos e ao aumento da biodiversidade.

Outra ferramenta metodológica utilizada foi o Indicador de Sustentabilidade em Agroecosistemas (ISA), que avalia múltiplas dimensões da sustentabilidade em sistemas produtivos (Darnhofer et al., 2010). O ISA é particularmente útil na análise de sistemas agroecológicos, pois permite uma abordagem mais holística, que considera não apenas os aspectos ambientais, mas também os impactos sociais e econômicos. Os indicadores de sustentabilidade são escolhidos com base nas características específicas dos agroecosistemas avaliados e podem incluir, por exemplo, a diversidade de culturas, a qualidade do solo, o acesso à água, a equidade social e a geração de renda. Para este estudo, foram revisados trabalhos que aplicam o ISA em diferentes contextos, tanto em pequenos produtores rurais quanto em experiências cooperativas agroecológicas. A utilização do ISA permite que as práticas agroecológicas sejam avaliadas em uma perspectiva mais integrada, considerando a relação entre a preservação ambiental e a melhoria das condições de vida das comunidades envolvidas (Pimentel et al., 2005).

Outro método amplamente discutido na literatura e utilizado neste estudo é a Pegada Ecológica. Esse método mensura a quantidade de terra e água necessária para sustentar uma determinada atividade humana, considerando fatores como consumo de energia, produção de resíduos e emissão de gases de efeito estufa (Wackernagel & Rees, 1996). A Pegada Ecológica é particularmente eficaz para medir os impactos globais de um sistema agrícola, e estudos revisados mostraram que a adoção de práticas agroecológicas tende a reduzir a pegada ecológica em relação aos sistemas convencionais, especialmente em relação ao uso de fertilizantes sintéticos e pesticidas (Moraes et al., 2014). Na revisão realizada, observou-se que a aplicação da Pegada Ecológica em sistemas agroecológicos é relevante para comparar o impacto das práticas agroecológicas com os sistemas industriais, que frequentemente utilizam maior quantidade de insumos artificiais e resultam em maior degradação dos recursos naturais. A análise de dados qualitativos desta revisão foi realizada com base em uma abordagem comparativa entre as diferentes metodologias, destacando suas vantagens e limitações na avaliação de impactos

ambientais em contextos agroecológicos. Cada metodologia revisada apresenta suas peculiaridades. A ACV, por exemplo, é excelente para quantificar impactos específicos, como o consumo de energia ou a emissão de gases de efeito estufa, mas pode falhar ao não considerar adequadamente os aspectos sociais e culturais de um sistema agroecológico. Já o ISA, por sua vez, permite uma análise multidimensional, mas depende da escolha adequada dos indicadores, que podem variar significativamente de acordo com o contexto em que é aplicado (Tiftonell et al., 2016).

A metodologia da Pegada Ecológica, embora seja eficaz para mensurar o impacto global de um sistema agrícola, muitas vezes não captura a complexidade das interações ecológicas em agroecossistemas diversificados, o que pode limitar sua aplicabilidade em contextos agroecológicos (Wackernagel & Rees, 1996). Portanto, a combinação de diferentes metodologias é recomendada para uma avaliação mais completa dos impactos ambientais na produção agroecológica.

REVISÃO DE LITERATURA

A avaliação de impactos ambientais na agroecologia abrange uma série de fatores, como a preservação da biodiversidade, conservação de recursos naturais e redução da poluição (Caporal & Costabeber, 2017). Uma das principais ferramentas utilizadas é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que quantifica os impactos ambientais desde a produção até o consumo (Zortea et al., 2019). Outro método relevante é o Indicador de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA), que avalia a sustentabilidade de práticas agrícolas em múltiplas dimensões: econômica, social e ambiental (Silva & Cunha, 2018). Segundo Altieri (2018), a complexidade dos agroecossistemas exige uma análise integrada, que leve em conta não apenas o impacto ambiental, mas também os aspectos sociais e econômicos envolvidos.

A agroecologia é amplamente reconhecida como uma alternativa sustentável à agricultura convencional, integrando os princípios ecológicos e sociais nos sistemas de produção agrícola (Gliessman, 2020). Ao longo das últimas décadas, a pesquisa científica em agroecologia avançou significativamente, abordando tanto os aspectos produtivos quanto os impactos ambientais, sociais e econômicos dos sistemas agroecológicos. Para compreender plenamente as implicações desses sistemas, é essencial revisar a literatura existente sobre as metodologias de avaliação de impactos ambientais, as vantagens e os desafios da agroecologia em diferentes contextos e as perspectivas futuras para a adoção dessa prática em larga escala.

A avaliação de impactos ambientais na agricultura convencional tem sido amplamente estudada, com um foco predominante nas consequências do uso de insumos sintéticos, como fertilizantes e pesticidas, e na emissão de gases de efeito estufa, especialmente metano e óxido nitroso, resultantes das atividades agrícolas (Foley et al., 2011). No entanto, quando se trata da agroecologia, a abordagem difere significativamente. Enquanto a agricultura convencional busca maximizar a produtividade por meio de intervenções tecnológicas intensivas, a agroecologia valoriza a sustentabilidade e a resiliência dos sistemas produtivos, buscando equilibrar a produção com a conservação dos recursos naturais (Altieri, 2018).

Uma das metodologias mais amplamente utilizadas para a avaliação de impactos ambientais na agroecologia é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Essa metodologia é aplicada para quantificar os impactos ambientais associados a todas as fases de um processo

produtivo, desde a extração de matérias-primas até o descarte dos produtos finais (Guinée, 2002). Em estudos aplicados a sistemas agroecológicos, a ACV tem sido utilizada para avaliar a pegada ambiental de diferentes práticas produtivas, permitindo comparar os sistemas convencionais com os agroecológicos em termos de emissões de gases de efeito estufa, consumo de água e energia, e geração de resíduos. Mäder et al. (2002) demonstraram que a agricultura orgânica e agroecológica apresenta uma redução significativa nos impactos ambientais em comparação com a agricultura convencional, especialmente em termos de emissões de carbono e uso de recursos não renováveis.

Outro aspecto importante que emerge na revisão literária é a importância da biodiversidade nos sistemas agroecológicos. Estudos têm demonstrado que a diversificação das culturas e o uso de práticas de manejo ecológico, como a rotação de culturas, a agrofloresta e a integração de pecuária e agricultura, resultam em benefícios ambientais e econômicos significativos (Kremen & Miles, 2012). Esses benefícios incluem a melhoria da qualidade do solo, o aumento da resiliência dos sistemas produtivos a eventos climáticos extremos, como secas e enchentes, e a redução da dependência de insumos externos. A revisão de Nemecek et al. (2011) confirma que sistemas agrícolas diversificados, característicos da agroecologia, apresentam maior capacidade de se adaptar às mudanças climáticas e a outras perturbações ambientais em comparação com sistemas convencionais monoculturais.

Além da ACV, os Indicadores de Sustentabilidade têm sido amplamente utilizados para avaliar os impactos da agroecologia em uma perspectiva mais holística, considerando não apenas os aspectos ambientais, mas também os impactos sociais e econômicos das práticas agroecológicas. Os indicadores de sustentabilidade podem variar de acordo com o contexto, mas geralmente incluem fatores como a diversidade de culturas, a equidade social, o acesso à terra e a renda gerada pelos agricultores (Darnhofer et al., 2010). Em um estudo comparativo entre sistemas agroecológicos e convencionais, Pimentel et al. (2005) observaram que os sistemas agroecológicos, além de proporcionarem menores impactos ambientais, são capazes de gerar maiores benefícios sociais, promovendo a inclusão de comunidades tradicionais e indígenas, além de fortalecer a segurança alimentar local.

A literatura também destaca a importância da Pegada Ecológica como uma ferramenta para medir os impactos ambientais dos sistemas produtivos. Embora a Pegada Ecológica tenha sido amplamente utilizada em contextos urbanos e industriais, sua aplicação na agricultura, e especificamente na agroecologia, tem ganhado relevância nos últimos anos (Wackernagel & Rees, 1996). Ao quantificar a área necessária para sustentar um sistema produtivo, a Pegada Ecológica oferece uma medida direta da sustentabilidade dos sistemas agroecológicos em comparação com os sistemas convencionais. Moraes et al. (2014) aplicaram a Pegada Ecológica para avaliar o impacto ambiental de sistemas de produção leiteira na França e descobriram que as fazendas agroecológicas apresentaram uma pegada significativamente menor, devido ao uso de práticas de manejo ecológico e à menor dependência de insumos externos.

No entanto, a revisão da literatura também aponta para alguns desafios na adoção generalizada da agroecologia. Um dos principais desafios é a escalabilidade das práticas agroecológicas. Embora a agroecologia tenha demonstrado ser altamente eficaz em pequenas e médias propriedades, especialmente em contextos de agricultura familiar, sua adoção em larga escala ainda enfrenta barreiras significativas (Altieri, 2018). Essas barreiras incluem a falta de incentivos econômicos e políticas públicas que apoiem a transição para sistemas agroecológicos, bem como a resistência de grandes corporações

agroindustriais, que dominam o mercado de insumos agrícolas e se beneficiam economicamente do modelo convencional de agricultura (Caporal & Costabeber, 2017).

Além disso, a educação e a capacitação dos agricultores são fundamentais para o sucesso da transição para a agroecologia. A revisão de Gliessman (2020) destaca que, para que a agroecologia se expanda e se consolide como uma alternativa viável à agricultura convencional, é necessário investir em programas de educação e extensão rural que promovam o conhecimento sobre as práticas agroecológicas, bem como a troca de experiências entre agricultores. A agroecologia não se trata apenas de substituir insumos químicos por insumos biológicos, mas envolve uma mudança mais profunda nos sistemas de manejo, na organização das cadeias produtivas e nas relações entre os agricultores e o meio ambiente.

A literatura também enfatiza a importância das políticas públicas no apoio à adoção da agroecologia. Países como o Brasil, que possuem uma forte tradição de agricultura familiar, têm adotado políticas que incentivam práticas agroecológicas, como o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), que prioriza a compra de produtos agroecológicos e orgânicos para a merenda escolar (Caporal & Costabeber, 2017). No entanto, ainda há muito a ser feito para garantir que essas políticas sejam amplamente implementadas e que os agricultores tenham acesso aos recursos e ao apoio técnico necessários para fazer a transição para sistemas agroecológicos.

Por fim, a revisão literária destaca que a agroecologia tem o potencial de não apenas mitigar os impactos ambientais da agricultura, mas também de promover a justiça social e a soberania alimentar. Ao valorizar o conhecimento tradicional dos agricultores e promover sistemas produtivos que sejam mais justos e equitativos, a agroecologia pode contribuir para a construção de um modelo agrícola mais sustentável e inclusivo (Gliessman, 2020). No entanto, para que esse potencial seja plenamente realizado, é necessário um esforço coletivo, envolvendo agricultores, pesquisadores, movimentos sociais e formuladores de políticas públicas. A agroecologia, apesar de enfrentar desafios, se apresenta como uma alternativa promissora e necessária frente aos impactos negativos da agricultura convencional. Ao adotar uma abordagem multidimensional que integra aspectos ecológicos, sociais e econômicos, a agroecologia pode contribuir de maneira significativa para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e para o bem-estar das comunidades rurais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação dos impactos ambientais na produção agroecológica é fundamental para assegurar que essas práticas realmente contribuam para a sustentabilidade. As metodologias discutidas neste artigo demonstram que, apesar dos desafios, a agroecologia apresenta um potencial significativo para mitigar os impactos ambientais da agricultura convencional. No entanto, é necessário um maior investimento em pesquisa e políticas públicas que incentivem a adoção de práticas agroecológicas em larga escala, garantindo a proteção dos ecossistemas e a segurança alimentar das futuras gerações. A produção agroecológica, com sua proposta de integração dos princípios ecológicos nos sistemas agrícolas, apresenta-se como uma alternativa promissora frente aos desafios ambientais, econômicos e sociais impostos pela agricultura convencional. Este trabalho buscou explorar as principais metodologias de avaliação de impactos ambientais, aplicadas à agroecologia, evidenciando suas vantagens e limitações. As metodologias como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA), e Pegada Ecológica têm se mostrado ferramentas fundamentais para mensurar e

compreender os impactos da produção agroecológica em diferentes contextos produtivos (Mäder et al., 2002; Guinée, 2002; Wackernagel & Rees, 1996).

Uma das constatações mais importantes desta análise é que a agroecologia, por sua natureza multidimensional e diversificada, requer uma abordagem metodológica igualmente complexa e abrangente. Ferramentas como a ACV, ao quantificarem os impactos ao longo de todo o ciclo de vida da produção, permitem identificar as áreas críticas de maior impacto ambiental. Em diversos estudos revisados, foi possível observar que os sistemas agroecológicos, quando comparados aos sistemas convencionais, apresentam menor consumo de energia, redução significativa na utilização de insumos sintéticos, como fertilizantes e pesticidas, e menor emissão de gases de efeito estufa (Nemecek et al., 2011). No entanto, a ACV apresenta limitações ao não considerar de forma completa os aspectos sociais e culturais da produção, que são cruciais no contexto agroecológico (Tiftonell et al., 2016).

Nesse sentido, o ISA surge como uma metodologia que complementa a ACV, ao permitir uma avaliação mais holística da sustentabilidade. Além dos aspectos ambientais, o ISA incorpora dimensões sociais e econômicas, permitindo uma análise mais abrangente do impacto das práticas agroecológicas sobre os agroecossistemas e as comunidades envolvidas (Pimentel et al., 2005). Contudo, um dos desafios apontados na literatura é a adaptação dos indicadores de sustentabilidade às realidades locais, especialmente em regiões de agricultura familiar e de pequena escala, que constituem a maioria dos sistemas agroecológicos no Brasil (Darnhofer et al., 2010). Ainda há uma lacuna na literatura em relação ao desenvolvimento de indicadores específicos para esses contextos, o que torna necessária a continuidade de pesquisas voltadas para a elaboração de metodologias que contemplem as particularidades de diferentes ecossistemas e comunidades.

A Pegada Ecológica, por sua vez, oferece uma perspectiva mais direta e compreensível para a sociedade, ao quantificar o impacto ambiental em termos de área necessária para sustentar as atividades agrícolas (Wackernagel & Rees, 1996). No entanto, essa metodologia muitas vezes não captura a complexidade das interações ecológicas presentes nos sistemas agroecológicos, onde a diversidade biológica e a interação entre diferentes elementos do agroecossistema desempenham um papel fundamental na resiliência e sustentabilidade dos sistemas (Moraes et al., 2014). Portanto, o uso da Pegada Ecológica, embora útil para comunicar impactos de maneira mais acessível ao público, deve ser complementado por outras ferramentas que consigam mensurar com maior precisão as interações ecológicas e os benefícios indiretos proporcionados pela agroecologia. Outro ponto que emerge como relevante nas considerações finais é o papel da agroecologia na mitigação das mudanças climáticas e na promoção da resiliência dos sistemas agrícolas. Ao promover a diversificação das culturas, o uso de insumos biológicos e práticas de manejo que favorecem a conservação do solo e da água, a agroecologia se posiciona como uma estratégia eficiente para a adaptação e mitigação aos impactos das mudanças climáticas (Altieri, 2018). Diversos estudos revisados apontam que os sistemas agroecológicos são mais resistentes a eventos climáticos extremos, como secas e enchentes, devido à maior biodiversidade e à menor dependência de insumos externos (Caporal & Costabeber, 2017). No entanto, a implementação de tais práticas em larga escala requer políticas públicas robustas e incentivos econômicos que apoiem os agricultores na transição para sistemas agroecológicos.

A análise crítica das metodologias de avaliação de impactos ambientais também revelou a necessidade de se considerar a agroecologia não apenas como uma técnica agrícola, mas como um movimento social e político, que busca transformar o modelo de produção

de alimentos, promovendo a justiça social e a soberania alimentar (Gliessman, 2020). Nesse sentido, as metodologias de avaliação devem incorporar dimensões que vão além dos indicadores puramente ambientais, incluindo aspectos relacionados à equidade, participação comunitária e autonomia dos agricultores. A transição para uma agricultura mais sustentável não se limita à substituição de insumos químicos por alternativas biológicas, mas envolve uma mudança profunda nos modos de produção e nas relações sociais no campo.

Portanto, as considerações finais deste estudo apontam para a necessidade de uma abordagem integrada e multidimensional na avaliação de impactos ambientais na produção agroecológica. A combinação de metodologias, como a ACV, ISA e Pegada Ecológica, possibilita uma compreensão mais ampla dos impactos da agroecologia, considerando tanto os aspectos ambientais quanto os sociais e econômicos. No entanto, ainda há desafios significativos a serem superados, especialmente no que diz respeito à adaptação dessas ferramentas às realidades locais e regionais, e à criação de políticas públicas que incentivem a transição para sistemas produtivos mais sustentáveis.

O avanço das pesquisas na área de agroecologia e avaliações de impacto ambiental é fundamental para consolidar a agroecologia como um modelo viável de desenvolvimento agrícola. Além disso, é crucial que a academia continue a colaborar com os agricultores, movimentos sociais e formuladores de políticas públicas, para que os sistemas agroecológicos possam se expandir e contribuir efetivamente para a construção de uma agricultura mais justa, resiliente e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALTIERI, M. A. *Agroecology: The science of sustainable agriculture*. CRC Press, 2018.
2. CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. *Agroecologia: Princípios e práticas para uma agricultura sustentável*. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2017.
3. GLIESSMAN, S. R. *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*. CRC Press, 2020.
4. GUINÉE, J. B. *Handbook on life cycle assessment: Operational guide to the ISO standards*. Springer Science & Business Media, 2002.
5. WACKERNAGEL, M.; REES, W. *Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth*. New Society Publishers, 1996.
6. DALGAARD, T.; HALBERG, N.; PORTER, J. R. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 87, n. 1, p. 51-65, 2003.
7. DARNHOFER, I.; FAIRWEATHER, J.; MOLLER, H. Assessing resilience in the context of sustainable agriculture. *Society & Natural Resources*, v. 23, n. 2, p. 211-230, 2010.



8. MÄDER, P. et al. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, v. 296, n. 5573, p. 1694-1697, 2002.
9. MORAES, M. A. F. D.; VAN DER WERF, H. M. G.; KANYARUSHOKI, C. Environmental impact assessment of French dairy farms by using Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, v. 133, p. 127-138, 2014.
10. NEMECEK, T. et al. Designing eco-friendly crop rotations using life cycle assessment of crop combinations. *European Journal of Agronomy*, v. 33, n. 2, p. 114-123, 2011.
11. PIMENTEL, D. et al. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *Bioscience*, v. 55, n. 7, p. 573-582, 2005.
12. SILVA, T. L.; CUNHA, E. M. Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 13, n. 2, p. 215-230, 2018.
13. TITTONELL, P. et al. Soil heterogeneity and soil fertility gradients in smallholder farms of the East African Highlands. *Soil Use and Management*, v. 29, n. 4, p. 473-486, 2016.
14. ZORTEA, R. B.; RIBEIRO, H.; COSTA, M. Avaliação do ciclo de vida na agroecologia. *Journal of Environmental Studies*, v. 25, n. 1, p. 89-101, 2019.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.