

(Eco)eficiência da produção alimentar: uma revisão sistemática da literatura

(Eco)efficiency in food production: a systematic review of the literature

João Vitor Borges da Silva¹, Karim Marini Thomé²

RESUMO: O presente artigo realizou uma revisão sistemática da literatura em (eco)eficiência da produção agropecuária. Para isso, o protocolo *MethodiOrdinatio* foi empregado para filtrar 100 artigos retirados das bases de dados *Science Direct* e *Web of Science*. 69 artigos foram analisados extensivamente com intuito de elucidar as principais abordagens, variáveis e métodos compreendidos no estudo de (eco)eficiência da agricultura e pecuária. A discussão dos resultados apontou que 14% dos artigos foram publicados pelo *Journal of Cleaner Production*, demonstrando sua representatividade e importância para o debate em questão. Dentre as principais abordagens, em consonância com o reconhecimento do potencial de degradação ambiental da agropecuária, constatou-se um crescimento considerável de estudos em (eco) eficiência. Ainda, a revisão da literatura indicou que para 75% dos artigos o método de pesquisa adotado foi o *Data Envelopment Analysis* (DEA) ou *Stochastic Frontier Analysis* (SFA). Portanto, a recorrente adição de um segundo estágio quando da utilização do DEA demonstrou a relevância de analisar a influência de fatores não controláveis na (eco)eficiência da agropecuária.

Palavras-chave: Agronegócio. DEA. *MethodiOrdinatio*. SFA.

ABSTRACT: A systematic review of the literature on (eco)efficiency of agricultural and cattle raising was undertaken. *MethodiOrdinatio* filtered 100 articles from databases *Science Direct* and *Web of Science*, of which 69 articles were analyzed in depth to elucidate main approaches, variables and methods in studies on agriculture and cattle raising. Results revealed that 14% of the articles were published by the *Journal of Cleaner Production* and revealed its representativity and importance for the debate on current issue. Within the main approaches and in accordance to the acknowledgement of the environmental degradation capacity of agriculture and cattle raising, there was a significant growth in (eco)efficiency studies. The review of the literature showed that in 75% of the articles, research method was *Data Envelopment Analysis* (DEA) or *Stochastic Frontier Analysis* (SFA). The addition of a second stage, or rather, the employment of DEA, showed the relevance of analyzing the influence of non-controllable factors in (eco)efficiency in agriculture and cattle raising.

Keywords: Agribusiness. DEA. *MethodiOrdinatio*. SFA.

Autor correspondente:

João Vitor Borges da Silva: borges.joaovitor@gmail.com

Recebido em: 27/12/2019

Aceito em: 31/07/2020

INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), em nações que dependem sumariamente da agricultura, a contribuição da produção agrícola para o PIB é até quatro vezes maior do que no resto do mundo. Com efeito, o índice de participação do setor na economia dessas regiões alcançou, em média, 37% em 2015 (FAO, 2018). Além disso, não apenas a agropecuária representa 28% da força de trabalho mundial, como também se reconhece que o crescimento do setor nos países tem significativo impacto na redução da pobreza (WORLD BANK, 2016; IVANIC; MARTIN, 2018).

Contudo, ainda que os aumentos de produtividade do setor agrícola estejam relacionados à elevação do nível de renda de uma sociedade, é igualmente relevante o apontamento da literatura a respeito do equilíbrio necessário entre conservação dos ecossistemas e produção de bens e serviços fundamentais para manutenção de desenvolvimento econômico sustentável a longo prazo. Com efeito, a degradação intensiva do capital natural sem adequada

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Católica de Brasília (UCB), Brasília (DF), Brasil.

² Docente do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade de Brasília (UnB), Brasília (DF), Brasil.

manutenção dos serviços ecossistêmicos ocasiona perdas consideráveis de produtividade alimentícia, de produção de água e de energia para populações locais (ARAÚJO *et al.*, 2021).

Outrossim, as pesquisas científicas relacionadas à (eco)eficiência e produtividade do setor agrário têm sido substanciais ao longo das últimas décadas. Em referência à eficiência econômica, Toma *et al.* (2017) representam um trabalho recente que analisa a eficiência agrícola dos países da União Europeia entre 1993 e 2013. Por meio de uma aplicação metodológica com Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) com *bootstrap*, os autores evidenciaram a existência de retornos variáveis de escala ao longo de todo o recorte temporal, além de possibilidades de melhoramento do nível de eficiência médio observado.

Para (eco)eficiência, Peña *et al.* (2018) utilizam funções distância hiperbólicas com fronteira estocástica para analisar os custos de oportunidade de redução dos impactos ambientais nos municípios amazônicos, tendo observado um custo de oportunidade das áreas preservadas entre US\$ 82,39 e US\$ 170,32. De outra forma, foi mensurada uma redução possível de 16,36% das áreas degradadas e dos insumos simultaneamente à expansão de 19,5% dos produtos desejáveis. Ainda, Adenuga *et al.* (2018) avaliam o desempenho ambiental de estabelecimentos agropecuários em termos de eficiência de geração de nitrogênio e fósforo (N e P) nas quatro regiões da Irlanda. Através da DEA com regressão truncada, foram apontadas diferenças regionais em eficiência ambiental, em que as regiões nortenhas apresentaram maior desempenho produtivo e menor constituição de impactos ambientais em N e P.

Inicialmente, então, as análises se concentraram na avaliação da eficiência econômica, estimuladas pelos desdobramentos positivos advindos do aumento da produção agropecuária e matérias-primas a custos baixos e da expansão da produtividade da agropecuária oriunda da exploração dos recursos naturais (CAMPOS *et al.*, 2014). Todavia, esse enfoque produtivista negligenciou a agenda ambiental em detrimento dos resultados financeiros, pois, tanto desconsiderou a interdependência entre ambos, quanto ignorou o potencial de redução da capacidade de produção dos sistemas agrícolas a partir da degradação do meio ambiente em termos de redução da produtividade dos serviços ambientais (CAMPOS *et al.*, 2014; ARAÚJO *et al.*, 2021).

Segundo Fassio *et al.* (2006) as cadeias agroindustriais foram submetidas a profundas transformações induzidas pelas políticas econômicas de abertura comercial e estabilidade macroeconômica, cujas consequências foram de aumento geral da concorrência e competitividade dos mercados. Contudo, ressalta-se que essa conjuntura positiva de modernização agrícola obteve como contrapartida a intensificação dos impactos ambientais em ameaças a ecossistemas vitais, como exemplificado pelo aumento do desmatamento do bioma amazônico (PEÑA *et al.*, 2018)

Tendo em vista a relevância da produção agropecuária no contexto mundial e a consolidação das pesquisas que investigam a produtividade e sustentabilidade do setor rural, uma revisão da literatura recente em (eco)eficiência da produção agropecuária se constitui como necessária. Nesse sentido, o objetivo do artigo é identificar o estado da arte dessas pesquisas, caracterizando as principais abordagens, métodos fundamentais de análise de (eco)eficiência na produção agropecuária e indicando possíveis lacunas que subsidiem futuros estudos no tema.

Para o objetivo geral, considerou-se o protocolo de revisão sistemática de Pagani, Kovaleski e Resende (2015), cuja metodologia permite selecionar artigos de acordo com sua relevância em citações, ano de publicação e fator de impacto. Os bancos de dados escolhidos foram os sítios eletrônicos do *Science Direct (Elsevier)* e *Web of Science (Clarivate Analytics)*.

A estrutura desse artigo divide-se em: (i) Introdução; (ii) Referencial teórico, em que é discutida a fundamentação teórica do trabalho; (iii) Métodos e técnicas de pesquisa, em que descreve-se o procedimento metodológico aplicado; (iv) Análise e discussão dos resultados, em que são discutidos os resultados da revisão sistemática; e (v) Considerações finais, em que as conclusões e insumos para pesquisas futuras são apontados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Tendo em vista os objetivos apresentados, toma-se uma revisão sistemática da literatura para analisar o estado da arte dos estudos em (eco)eficiência da produção agropecuária. Para isso, é importante diferenciar duas abordagens possíveis de serem realizadas: (i) uma revisão de tópicos acumulados em um eixo temático ao longo dos anos, a fim de elaborar uma síntese da área de estudo; e (ii) uma revisão de temas potenciais, com o intuito de expor possíveis avanços teóricos e metodológicos (SILVA *et al.*, 2019). Sabendo que o propósito desse artigo é extensivo em sua análise, entende-se que a primeira opção é mais adequada.

Posto isso, existem diversos protocolos na literatura que amparam a revisão sistemática. Um dos mais utilizados é o de Cronin, Ryan e Coughlan (2008), que se apresenta como um modelo para sistematizar resultados de revisão de artigos empíricos a partir da definição de perguntas de pesquisa, palavras-chave e operadores booleanos que conduzem o pesquisador. Todavia, o protocolo escolhido para esse estudo é o de Pagani, Kovalski e Resende (2015), haja vista que permite a ponderação dos resultados entre três variáveis: fator de impacto, número de citações e ano de publicação. A racionalização entre estas tem como produto o índice *InOrdinatio*, que ranqueia os artigos individualmente segundo sua relevância científica.

Adicionalmente, de acordo com Paula *et al.* (2019), o formalismo e rigor adicionais do *MethodiOrdinatio* tornam sua aplicação vantajosa no contexto acadêmico. Os passos considerados no protocolo, adaptados para o presente trabalho, serão apresentados a seguir.

2.1 PASSO 1: ESTABELECENDO INTENÇÃO DE PESQUISA E PALAVRAS-CHAVE

As intenções específicas de pesquisa foram: (i) selecionar artigos cujos objetivos eram mensurar a (eco)eficiência aplicada à produção agropecuária e (ii) identificar as principais abordagens de (eco)eficiência nesse contexto científico, bem como os métodos sumários utilizados. Considerando as bases de dados do *Science Direct (Elsevier)* e *Web of Science (Clarivate Analytics)*, as palavras-chave consideradas foram segmentadas em dois grupos, de acordo com o banco de dados selecionado.

O primeiro, para o *Science Direct*, que não delimita área temática, foram manuseadas as palavras “*efficiency*”, “*agriculture*” e “*farm*” com operadores booleanos *AND* e *OR*. Já o segundo, para o *Web of Science*, que tem opção de delimitar área temática, foram consideradas as mesmas palavras com os mesmos operadores, com adição dos eixos temáticos “*Social Sciences*” e “*Agriculture*”. Em ambos os grupos foram escolhidos apenas artigos com dados empíricos. O recorte temporal de pesquisa definido foi entre os anos de 2014 e 2019, pois um espaço temporal maior que esse resultaria um volume de artigos demasiadamente grande para análise.

2.2 PASSOS 2, 3, 4 E 5: PESQUISA EXPLORATÓRIA, SELEÇÃO DE ARTIGOS E FILTRAGEM

A pesquisa inicial definida, então, retornou 591 artigos pela *Science Direct* e 298 pela *Web of Science*, totalizando 889 artigos científicos. Posteriormente, esses resultados iniciais foram filtrados a partir da análise dos títulos e resumos. Isso posto, a intenção foi restringir aqueles que de fato apresentaram objeto de estudo coerente com a análise de (eco)eficiência na produção agropecuária. Com esse procedimento, obteve-se um universo de 110 estudos aderentes, sendo excluídos outros 779. Excluindo-se os duplicados, obteve-se uma amostra de 100 artigos a serem analisados pelo fator de impacto.

2.3 PASSOS 6, 7, 8 E 9: DEFININDO FATOR DE IMPACTO E RANQUEANDO OS ARTIGOS

Os 100 artigos remanescentes foram armazenados conjuntamente com seus respectivos anos de publicação, fatores de impacto e número de citações. O fator de impacto de cada trabalho foi acessado pelo sítio eletrônico do *Scimago Journal & Country Rank* (SJR) e as citações foram retiradas do *Google Scholar*. A escolha do SJR se justificou pelo fato de que a principal base de dados desse trabalho foi o *Science Direct*, cuja editora *Elsevier* é a desenvolvedora do sistema de ranqueamento escolhido.

O fator de impacto representa a relevância do *journal* na comunidade acadêmica internacional, ao passo que o número de citações é o nível de reconhecimento do artigo. Já o ano de publicação é incluído para mensurar a importância de trabalhos novos que ofereçam mudanças de paradigmas nos problemas de pesquisa da área. Assim, tornou-se factível o ranqueamento individual da amostra a partir da fórmula *InOrdinatio*, que pode ser expressa da seguinte forma:

$$InOrdinatio = \left(\frac{Fi}{1000} \right) + \alpha \cdot [10 - (AnoPesq - AnoPub)] + \sum C_i \quad (1)$$

Em que *Fi* é o fator de impacto; α é o peso atribuído pelo pesquisador ao ano de publicação, que pode variar de 1 a 10; AnoPesq e AnoPub são o ano da pesquisa e o ano da publicação; e *C_i* é o número de citações do artigo. No âmbito dessa revisão sistemática, foi atribuído $\alpha = 10$, pois nessa atribuição não foram percebidas exclusões de artigos seminais.

Finalmente, a partir dos resultados optou-se por segmentar a amostra entre os dados em que $Fi \geq 80$, de forma a selecionar apenas os estudos que obtiveram os maiores escores de relevância segundo *InOrdinatio*. Por conseguinte, a amostra final a ser analisada em completude, isto é, os artigos completos, foi de tamanho 69. A seguir, segue-se a descrição e discussão dos resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em uma primeira análise, foi realizada uma observação das revistas em que os artigos foram publicados. Dentre estes, destaca-se o *Journal of Cleaner Production*, que sozinho foi responsável pela publicação de 10 artigos, equivalente a 14% da amostra. De modo similar, foi notável a participação das revistas *Agriculture Economics* (6), *Land Use Policy* (5), *Agricultural Systems* (4), *Ecological Indicators* (4), *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (4) e *European Journal of Operational Research* (3). Todos esses, juntos, correspondem a 52% das publicações.

Uma análise dos países que publicaram sobre (eco)eficiência e da produção agropecuária no período delimitado também foi realizada. Conforme explicitado pela Figura 1, que é uma análise de rede dos países que concentram as publicações da amostra, foi possível observar que grande parte dos estudos é conduzida por universidades da Europa. Além de ser o continente com mais países publicando sobre o tema, é também o que mais estabelece parcerias com outros pesquisadores.



Figura 1. Visualização em rede dos países publicadores

Ressalta-se especialmente a importância de Alemanha e Holanda, pois suas universidades foram as que mais produziram conjuntamente com instituições de outros países, e com maior frequência também. Essa cooperação estendeu-se, inclusive, à China, Tailândia, Nova Zelândia, Austrália e Estados Unidos. Com isso, pode-se afirmar a centralidade europeia na fomentação de trabalhos científicos em (eco)eficiência econômica e ambiental da produção agropecuária.

3.1 PRINCIPAIS ABORDAGENS PARA (ECO)EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Dentre os 69 artigos revisados detalhadamente, percebe-se uma predominância da opção de abordar a eficiência da agropecuária em seu aspecto econômico unicamente. Entretanto, ainda que seja uma construção teórica e metodológica mais recente na literatura, há um número representativo de artigos que incrementaram a dimensão ambiental na análise de eficiência. Em 62,3% dos casos (43) a escolha configurou-se pela avaliação da eficiência segundo sua dimensão técnica exclusivamente, ao passo que a opção pela (eco)eficiência se deu em 36,2% dos trabalhos.

Uma das razões fundamentais encontradas para a contínua difusão de artigos que analisam a eficiência da agropecuária é a relevância econômica e social da agricultura nos contextos nacionais e global. Segundo Toma *et al.* (2017), esta, além de ser a forma dominante de organização do uso da terra mundialmente, é um setor que constantemente passa por mudanças estruturais que afetam o crescimento de sua produtividade.

Outra considerável justificativa para problemas de pesquisa centrados no tema em discussão é a intenção de avaliar em que nível o uso dos recursos é eficiente dado um nível de produção (KANSIIME; ASTEN; SNEYERS, 2017). Segundo Wang *et al.* (2018), a preferência pela observação do comportamento dos *inputs* explica-se pelo maior controle gerencial que os produtores têm destes em detrimento da produção. Por esse prisma, Ma *et al.* (2018) analisam a influência da formação de cooperativas na eficiência técnica de produtores de maçã na China, observando que o efeito positivo constatado promovia boas práticas de uso de recursos e evitava desperdícios.

No que se refere à (eco)eficiência, a principal fundamentação encontrada entre os artigos foi a possibilidade de se examinar a relação entre agenda econômica e ambiental. Por isso, Masuda (2016) afirma que é necessário compreender os impactos ambientais oriundos da produção de alimentos para que se possa fomentar uma agricultura sustentável que atenda às demandas sociais presentes e futuras. Nesse sentido, ainda que seu objeto de estudo não seja (eco)eficiência, Araújo *et al.* (2021) oferecem uma complementação a esse ponto ao demonstrar que o aumento da produtividade agrícola precisa considerar os limites do ecossistema e as particularidades de cada bioma na manutenção da produtividade natural.

Em consonância, Ullah *et al.* (2016) embasam sua análise de (eco)eficiência na premência de se investigar a factibilidade de conciliação de performance ambiental e econômica. Para o caso de sistemas agrícolas de algodão no Paquistão, os autores demonstram que é praticamente impossível combinar altos retornos financeiros com baixo nível de degradação ambiental.

Portanto, o que se tenciona entender aqui é em que medida eficiência econômica é diametralmente oposta ou conciliável com eficiência ambiental. Caso seja um jogo de soma-zero, ambas se excluíam. Caso seja um jogo *win-win*, seria possível observar retornos econômicos simultaneamente à conservação do meio ambiente.

É interessante notar também que, dos 14 artigos que registraram *InOrdinatio* ≥ 100 , 7 tratam de análises de (eco)eficiência. Tal fato mostra que a dimensão ambiental tem ganhado relevância na literatura de (eco)eficiência, ainda mais considerando que a metodologia proposta confere maior peso aos dados de ano mais recente da amostra (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015).

De fato, pela Figura 2 é notável que o número de artigos em eficiência tem crescido a partir do ano de 2016 para a amostra, com pico em 2017 (10). Ainda, sabendo que quando a pesquisa foi realizada o ano de 2019 ainda não estava findado e, mesmo assim, contabilizava 4 artigos na área, pode-se concluir que há uma tendência atualmente de que a concentração de estudos esteja mais diluída. Seja avaliando o aspecto econômico, seja integrando o aspecto ambiental, infere-se também que as discussões acerca da sustentabilidade da produção agropecuária têm se fortalecido na comunidade acadêmica (ANGULO-MEZA *et al.*, 2019; DENG; GIBSON, 2019).

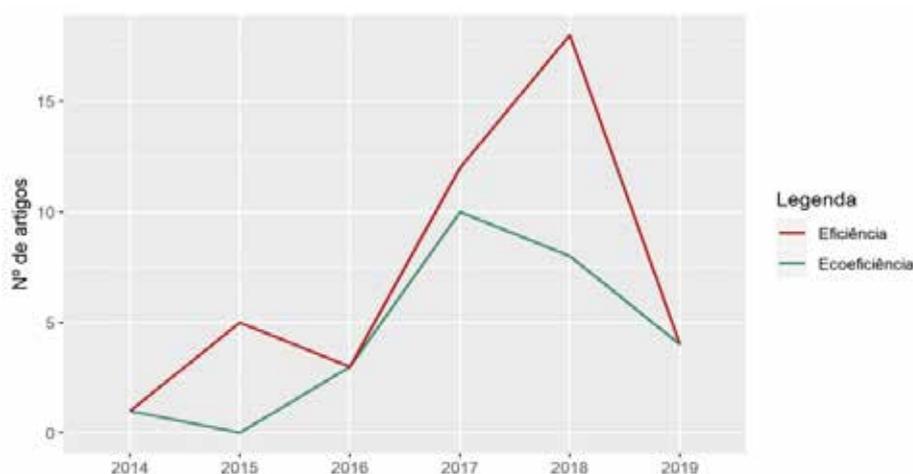


Figura 2. Evolução do número de artigos em (eco)eficiência por tipo de estudo

Ademais, só houve um trabalho que intentou incluir a dimensão social da sustentabilidade na análise de (eco)eficiência. Consequentemente, existe uma lacuna que enseja estudos que avaliem a sustentabilidade da produção agropecuária segundo a ótica social também.

3.2 COLETA DE DADOS E DELIMITAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Os artigos que consideram unidades decisórias (DMUs) para modelar as variáveis de estudo foram maioria na amostra. A fim de representarem valor econômico e ambiental de uma perspectiva mais generalizante e holística do processo produtivo, os dados coletados foram dispostos entre insumos (*inputs*) e produtos (*outputs*).

Os insumos podem ser diretos ou indiretos com relação à produção. Estes são geralmente definidos como despesas com energia (ANGULO-MEZA *et al.*, 2019). Aqueles são registrados como uso da terra, uso do capital, trabalho

e intermediários. Os *inputs* atrelados à terra são definidos em sua maioria como área das propriedades destinada à atividade agrícola em análise. Recursos de capital, por outro lado, são aqueles ativos compostos por tratores, máquinas e implementos e podem ser definidos em termos monetários, como depreciação, ou em quantidade, como número de tratores (ATICI; PODINOVSKI, 2015).

Quadro 1. Variáveis de (eco)eficiência da produção agropecuária

Variável	Descrição
Inputs clássicos	
Uso da terra	Área dos estabelecimentos destinada à produção agrícola
Capital	Número de tratores; número de máquinas e implementos agrícolas; e depreciação do capital imobilizado
Mão de obra	Número de pessoas ocupadas na produção; número de dias trabalhados; e despesas com mão de obra
Indiretos	Despesas com energia
Intermediários	Uso de fertilizantes e pesticidas (peso) e despesas com fertilizantes e pesticidas
Outputs clássicos	
Produção agrícola e pecuária	Valor da produção; quantidade produzida e receita da produção
Outputs indesejáveis	
Externalidades ambientais	Emissões de dióxido de carbono (CO ₂) e de gases efeito estufa; balanço de nitrogênio; excedente de nitrogênio, fósforo ou fosfato; intensidade do uso de pesticidas e fertilizantes; medidas de degradação de terras e diversidade de cultivos

Há ainda insumos de trabalho, que podem ser definidos como número de pessoas ocupadas na atividade, despesas com mão de obra, ou número de dias trabalhados (ATICI; PODINOVSKI, 2015; KUHN *et al.*, 2018). Já os intermediários são fertilizantes ou pesticidas, como em Toma *et al.* (2017), descritos ou em valores monetários ou em peso. Por último, entre as entradas e saídas clássicas, os produtos são amplamente delimitados como valor da produção, receita ou quantidade produzida (Quadro 1).

Em estudos que avaliam o desempenho da agricultura como um todo, a revisão indicou ser mais recomendável empregar indicadores financeiros, dada a diversidade dos bens. No caso de uma cultura ou comparação de bens homogêneos, utiliza-se quantidade.

Especificamente no campo da (eco)eficiência, tem-se a necessidade de se delimitarem *outputs* indesejáveis, que são externalidades negativas geradas como pressões ambientais pela produção econômica na produção agropecuária. Estas podem ser tratadas ora como insumos a serem minimizados nos modelos de pesquisa, ora como produtos indesejáveis que são indissociáveis da atividade agropecuária regular e devem ser igualmente minimizados.

Por conseguinte, a revisão sistemática retornou que a maioria dos artigos utiliza como variável ambiental as emissões de dióxido de carbono (CO₂) ou de gases de efeito estufa, balanço de nitrogênio e excedente de nitrogênio, fósforo ou fosfato (MASUDA, 2016; KUHN *et al.*, 2018; ANGULO-MEZA *et al.*, 2019). Outras modelagens consideraram intensidade do uso de pesticidas e fertilizantes, medidas de degradação da terra e diversidade do uso da terra (ULLAH *et al.*, 2016; MU *et al.*, 2018).

Há ainda as variáveis denominadas exógenas ao processo produtivo que foram adicionadas nos estudos que visaram avaliar os determinantes da (eco)eficiência agrícola. No que tange à escolha desses dados pela literatura, a revisão foi conclusiva ao apontar um padrão majoritário entre os artigos da amostra (ver Quadro 2). O grupo de variáveis com maior número de ocorrências foi: idade do produtor, gênero do produtor, experiência do produtor,

nível de educação do produtor, perfil da mão de obra, e área utilizada para produção (SEYMOUR, 2017; ARSHAD *et al.*, 2018; HUY; NGUYEN, 2019).

Quadro 2. Determinantes da (eco)eficiência da produção agropecuária

Dimensão	Variável	Descrição
Social	Idade	Idade do produtor principal em anos ou como variável <i>dummy</i>
	Gênero	Gênero do produtor principal como variável <i>dummy</i>
	Experiência	Experiência do produtor principal em anos ou como variável <i>dummy</i>
	Educação	Nível de educação do produtor principal em anos de estudo ou escolaridade como variável <i>dummy</i>
	Mão de obra	Proporção de mão de obra familiar; número de pessoas no estabelecimento; ou proporção de adultos no estabelecimento
	Extensão	Acesso a serviços de extensão agrícola como variável <i>dummy</i>
Econômica	Área utilizada	Área total do estabelecimento utilizada para cultivo e produção
	Cooperativa	Filiação à cooperativa como variável <i>dummy</i>
	Produtividade	Produtividade da terra
	Terras próprias	Percentual de terras próprias ou percentual de terras alugadas em relação ao total
	Crédito	Acesso a crédito em valores monetários ou como variável <i>dummy</i>
Ambiental	Certificação	Presença de certificação ambiental como variável <i>dummy</i>
	Localização	Localização geográfica ou região agrícola em coordenadas ou como variável <i>dummy</i>

688

Outras variáveis com significativa frequência entre os trabalhos foram: número de pessoas no estabelecimento; parcela de área de terras próprias; tipo de estabelecimento; localização geográfica; filiação a cooperativas; certificação; número de celulares; número de veículos; e acesso a crédito (ARSHAD *et al.*, 2018; HUY; NGUYEN, 2019). Isto posto, a Tabela 2 categoriza as variáveis determinantes da (eco)eficiência da produção agropecuária de acordo com três dimensões: social, econômica e ambiental.

3.3 PRINCIPAIS MÉTODOS E INDICADORES PARA AVALIAR (ECO)EFICIÊNCIA

Da literatura selecionada, a revisão indicou que há um significativo predomínio de artigos que utilizam Análise Envoltória de Dados (DEA) e Análise de Fronteira Estocástica (SFA) como metodologia para representar (eco) eficiência na produção agropecuária. Dos 69 artigos, 23 empregaram DEA para representar o CPP, ao passo que outros 24 optaram pela SFA. Contemplando também os que combinaram DEA e Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), então o número de trabalhos que abordaram o objeto de estudo pelo DEA passa a ser de 28. Ainda, 2 artigos escolheram apenas a LCA como indicador e outros 15 abordaram métodos que apareceram em apenas um artigo.

Considerando que em 75% dos casos optou-se pela DEA ou pela SFA como método de estudo, faz-se necessário detalhar as razões sumárias encontradas para proceder-se com cada um dos dois. Ainda, é relevante explorar as distintas nuances percebidas na definição do método para avaliar (eco)eficiência agropecuária, principalmente no que se refere à DEA, que contempla inúmeras variações em sua construção.

3.3.1 DEA e SFA: Uma Discussão

Segundo Atici e Podinovski (2015), agricultura é uma das três áreas com mais ocorrências de aplicações de DEA. Seu abrangente uso deve-se, inicialmente, à sua formulação que permite estimar uma fronteira de (eco)eficiência observando as melhores práticas em relação às piores. Enquanto aquelas se localizam na fronteira e representam as unidades eficientes, estas situam-se fora e a distância para fronteira representa o nível de (eco)ineficiência observado (ULLAH *et al.*, 2016). Logo, a DEA é um método baseado em problemas de programação linear que é extremamente útil para construir indicadores percentuais de eficiência relativa que maximiza produtos ou minimiza insumos.

Não obstante, ainda que a facilidade de construção de índices objetivos de (eco)eficiência seja um fator de peso, esta não é a principal justificativa observada na revisão sistemática. Ao que consta entre a maior parte dos artigos, o DEA tem sido opção recorrente como técnica no caso da agropecuária por ser um método não-paramétrico em sua constituição matemática. Sabendo disso, Toma *et al.* (2017) afirmam que sua maior vantagem é não requerer a especificação de uma relação funcional exata entre as variáveis modeladas. De fato, tal facilitador auxilia em áreas como agricultura, onde são inúmeras as variáveis que podem compor o desempenho de um estabelecimento.

Quando a intenção é avaliar também a eficiência ambiental de um conjunto de unidades ou região, a DEA surge como alternativa ou complementação à análise tradicional de *Life Cycle Assessment* (LCA). Esta é uma técnica que estima impactos ambientais de processos ou produtos através de toda uma cadeia de suprimentos (ANGULO-MEZA *et al.*, 2019). Todavia, conforme explicam Ullah *et al.* (2016), esse método, outrora adotado massivamente em trabalhos científicos, possui limitações quando aplicado isoladamente.

Essa falha explica-se pela inadequabilidade da LCA para construção de escores singulares de (eco)eficiência, isto é, que avaliem simultaneamente aspectos econômicos e ambientais do processo produtivo (MASUDA, 2016; ULLAH *et al.*, 2016). Por superestimar sustentabilidade pela dimensão ambiental, seu uso sozinho tem decaído, e têm se tornado comuns abordagens que combinem DEA e LCA, conforme extraído pela revisão da literatura.

Apesar das vantagens citadas, Toma *et al.* (2017) ressaltam que a limitação do DEA é ser um modelo determinístico, isto é, não considerar as incertezas do mundo real, chamado de erro estocástico. Dessa forma, a fronteira de (eco)eficiência formada não considera os distúrbios de variáveis exógenas que podem afetar os índices mensurados. Nesse contexto, a Análise de Fronteira Estocástica emerge como metodologia recorrentemente empregada, pois estima termos de erro da que explicariam parte dos desvios da fronteira (HUY; NGUYEN, 2019).

A SFA, então, é um método paramétrico para representação do CPP que estima (eco)eficiência por meio de uma função de produção estocástica geralmente expressa pela forma log-linear de Cobb-Douglas (HUY; NGUYEN, 2019). Sua principal vantagem e justificativa, conforme encontrado na literatura, é viabilizar a estimativa de parâmetros que correspondem a variáveis explanatórias a serem regredidas no modelo (SEYMOUR, 2017). Entre os artigos selecionados, a principal forma de mensurar esses parâmetros ocorreu pela Máxima Verossimilhança.

Nesse sentido, Huy e Nguyen (2019) reforçam a utilidade do método explicitando que é premente analisar eficiência considerando desvios da fronteira dados por variáveis não controláveis pelo produtor. Em cenários como da agricultura e da pecuária, em que há uma variabilidade inerente da produção devido ao clima, pestes e doenças, tal fator é patente. Porém, a SFA não é sem fraquezas, pois necessariamente presume uma forma funcional entre os insumos e produtos delimitados, além de impor uma distribuição de probabilidade entre os termos de erro (TOMA *et al.*, 2017; HUY; NGUYEN, 2019).

A partir desses apontamentos, tenciona-se superar a limitação determinística da DEA e viabilizar a construção de indicadores de (eco)eficiência que contemplem desvios não controláveis. Conhecido tal fato, foram minoria os artigos que ainda utilizam o método sem extensões que o qualifiquem para uma análise mais robusta. Sendo assim,

fração considerável da amostra utilizou o DEA em dois estágios, em que no primeiro estágio calculam-se os índices de (eco)eficiência, e no segundo estágio estima-se a influência das variáveis exógenas na formação dos indicadores.

Uma das extensões mais utilizadas foi o DEA *bootstrapped* com regressão truncada. Esse modelo permite analisar os fatores condicionantes dos escores de (eco)eficiência através de uma regressão econométrica comumente estimada pela técnica de Máxima Verossimilhança (ZULFIQAR; DATTA; THAPA, 2017). Ademais, a técnica de reamostragem (*bootstrap*) estima resultados mais acurados ao eliminar vieses estatísticos nos escores gerados pelo primeiro estágio.

Outra extensão presente na revisão é o DEA com regressão Tobit. Essa adição econométrica assume que os índices de (eco)eficiência são censurados, tendo valores entre 0 e 1. Contudo, tal abordagem não considera que os resultados para cada DMU da Análise Envoltória de Dados estão altamente correlacionados, o que violaria uma propriedade básica da análise de regressão. Consequentemente, essa modelagem não seria adequada como a de *bootstrap*, que possibilita a realização de inferências estatísticas a respeito dos índices DEA (ZULFIQAR; DATTA; THAPA, 2017).

De modo conclusivo, considerando que 16 dos 28 estudos que empregaram DEA o fizeram em dois estágios, a revisão da literatura mostrou que a avaliação da (eco)eficiência computando o peso dos fatores ambientais é recomendável para superar as limitações determinísticas do método. Com efeito, seja via DEA ou SFA, a análise dos escores ponderando fatores não controláveis é relevante em um contexto em que imperam diversas variáveis contextuais, como é o caso da produção agropecuária.

É factível notar também que há uma forte predominância da opção por DEA quando se analisa (eco)eficiência agropecuária. Embora não existam razões explícitas para isso, apenas em 3 casos optou-se pela SFA (KARUNARATHNA; WILSON, 2017; DENG; GIBSON, 2019), sendo mais frequente até análises com LCA. Isso posto, a maior variação de construções se encontra no método não paramétrico de DEA.

Para além da apreciação anterior sobre composição da metodologia em duas fases, compartilhada aqui similarmente, a discussão central que emerge refere-se ao tratamento das pressões ambientais. A despeito do ainda presente tratamento das externalidades ambientais negativas como *inputs* a serem minimizados, já existem artigos que tentam reduzir as limitações da DEA clássica para mensurar (eco)eficiência.

Um dos modelos apontados pela revisão sistemática que melhor representa o CPP para análises de (eco)eficiência é a DEA com função distância direcional (DEA-DDF). Berre *et al.* (2017) definem as DDFs como formas mais genéricas da distância radial clássica que permitem o pesquisador definir vetores de direção *a priori* que abarcam movimentos não radiais à fronteira. Portanto, a DEA-DDF tem como justificativa básica a vantagem de estimar a factível expansão dos produtos que simultaneamente reduz impactos ambientais e consumo de recursos (ADENUGA *et al.*, 2018).

O avanço teórico-metodológico da função distância direcional integrada ao DEA reside justamente na suposição de fraca descartabilidade dos *outputs* indesejáveis. Essa propriedade, ao contrário do livre descarte pressuposto pelo DEA clássico, prevê que a redução de um produto ambientalmente indesejável só é possível com uma redução simultânea do produto desejável (ADENUGA *et al.*, 2018).

No caso da SFA, as funções distância também têm sido empregadas para lidar com esse problema. Mais que isso, devido à necessidade de definir uma função paramétrica para a fronteira produtiva, as análises com fronteira estocástica geralmente se limitam a um único produto, que é constituído em termos dos insumos e do erro. Então, para avaliar (eco)eficiência segundo múltiplos insumos e produtos, pesquisadores têm definido a fronteira T a partir de funções de distância.

Deng e Gibson (2019) utilizam funções de distância de insumo e produto para representar a fronteira produtiva de forma multi-dimensional. Similarmente, Areal *et al.* (2018) analisam a eficiência ambiental da produção de cereal na Inglaterra especificando uma função de distância de produto na estrutura metodológica da SFA. Entretanto, uma especificação mais fidedigna para representação da fronteira estocástica de (eco)eficiência é a que incorpora funções de distância hiperbólicas. Pressupondo fraca descartabilidade dos *outputs* indesejáveis, sua especificação matemática permite otimizar a expansão dos produtos simultaneamente à redução de insumos e de produtos promotores de impactos ambientais (PEÑA *et al.*, 2018).

Seja para DEA ou para SFA, esse tipo de análise ainda é bastante promissor na literatura, constituindo uma lacuna a ser explorada por futuras pesquisas. Seu uso se justifica por ser uma forma robusta de representar (eco)eficiência considerando a assimetria de tratamento das pressões ambientais e *outputs* clássicos (ADENUGA *et al.*, 2018). Outro *gap* percebido foi que não houve estudos que analisaram eficiência econômica ou ambiental espacialmente, desconsiderando a possibilidade de a produtividade da produção agropecuária estar autocorrelacionada no espaço geográfico.

Por fim, a análise dos problemas duais para o caso da Análise Envoltória de Dados ainda é incipiente. Por meio destes é possível calcular o preço-sombra de uma variável em relação a outra, sendo bastante profícuo para avaliações de (eco)eficiência, pois seria viável calcular quanto seria necessário abdicar de um produto desejável, como receita, para reduzir uma unidade de uma pressão ambiental. Através dos referidos valores, então, poder-se-ia calcular o custo total de redução de uma externalidade ambiental negativa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo identificou o estado da arte dos estudos em (eco)eficiência da produção agropecuária, especificamente para produção agropecuária. Com isso, o intuito foi caracterizar as principais abordagens da literatura na área, os métodos mais empregados e as lacunas de pesquisa observadas, a fim de apontar direcionamentos para futuros trabalhos.

Dentre os principais resultados apontados, destaca-se que os artigos que abrangem a dimensão ambiental da eficiência e o potencial de degradação da agropecuária têm angariado relevância. Todavia, ainda é um campo a ser explorado, haja vista que quase inexitem trabalhos científicos que analisam a produção agrícola e pecuária contemplando também a dimensão social da sustentabilidade. Uma alternativa, que se torna factível com o desenvolvimento de modelos matemáticos mais avançados, é a incorporação da dimensão social como uma variável exógena.

Outro notável apontamento retirado da revisão sistemática refere-se aos métodos empregados para avaliar (eco)eficiência. Há uma significativa preponderância de artigos que utilizam DEA ou SFA, o que mostra a preferência da literatura pela construção de indicadores objetivos de (eco)eficiência para o caso da produção agropecuária. Ademais, dada a volatilidade da produção agropecuária, é recomendável investigar a influência de variáveis explanatórias na determinação do desempenho técnico dos produtores.

Isso posto, a justificativa sumária de adoção da SFA, a saber, contabilizar desvios da fronteira de (eco) eficiência originados por fatores não controláveis, reflete na crescente operacionalização da DEA em dois estágios. Por fim, especificamente para eficiência ambiental, despontam modelos que consideram as projeções não radiais de insumos e produtos para melhor representar o CPP. Uma das mais robustas foi a DEA com função distância

direcional (DDF), que pressupõe a fraca descartabilidade dos produtos *indesejáveis*. Por ser uma abordagem ainda pouco explorada, trata-se de uma lacuna a ser preenchida por novos trabalhos.

Também se recomenda a operacionalização de técnicas de análise espacial para investigar em que medida a eficiência ou (eco)eficiência está autocorrelacionada no espaço geográfico para o caso da agropecuária. Finalmente, a principal contribuição deste artigo foi sistematizar e caracterizar o estado da arte da (eco)eficiência na produção agropecuária e apontar *gaps* a serem perscrutados por estudos posteriores.

REFERÊNCIAS

- ADENUGA, A. H. *et al.* Modelling regional environmental efficiency differentials of dairy farms on the island of Ireland. **Ecological Indicators**, 95, p. 851-861, 2018. doi:10.1016/j.ecolind.2018.08.040
- ANGULO-MEZA, L. *et al.* A multiobjective dea model to assess the eco-efficiency of agricultural practices within the cf+dea method. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 161, p. 151-161, 2019. DOI:10.1016/j.compag.2018.05.037
- ARAÚJO, H. F. P. *et al.* A sustainable agricultural landscape model for tropical drylands. **Land Use Policy**, v. 100, 2021. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104913
- AREAL, F. J. *et al.* Measuring sustainable intensification: Combining composite indicators and efficiency analysis to account for positive externalities in cereal production. **Land Use Policy**, v. 75, p. 314-326, 2018.
- 692 ARSHAD, M. *et al.* Climatic variability and thermal stress in pakistan's rice and wheat systems: A stochastic frontier and quantile regression analysis of economic efficiency. **Ecological Indicators**, v. 89, p. 496-506, 2018. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.12.014
- ATICI, K. B.; PODINOVSKI, V. V. Using data envelopment analysis for the assessment of technical efficiency of units with different specialisations: An application to agriculture. **Omega**, v. 54, p. 72-83, 2015. DOI: 10.1016/j.omega.2015.01.015
- BERRE, D. *et al.* Thinking beyond agronomic yield gap: Smallholder farm efficiency under contrasted livelihood strategies in malawi. **Field Crops Research**, v. 214, p. 113-122, 2017. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.08.026
- CAMPOS, S. A. C. *et al.* (Eco)eficiência e custos associados à adequação ambiental para produção láctea em Minas Gerais. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 16, n. 3, p. 324-342, 2014. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/ags/orarao/262739.html>. Acesso em: 03 jun. 2019
- CRONIN, P.; RYAN, F.; COUGHLAN, M. Undertaking a literature review: A step-by-step approach. **British journal of nursing**, v. 17, p. 38-43, 01 2008. DOI: 10.12968/bjon.2008.17.1.28059
- DENG, X.; GIBSON, J. Improving eco-efficiency for the sustainable agricultural production: A case study in Shandong, China. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 144, p. 394-400, 2019. DOI: 10.1016/j.techfore.2018.01.027
- FAO - The Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **The State of Food and Agriculture**: migration, agriculture and rural development, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/state-of-food-agriculture/en/>. Acesso em: 03 jun. 2019.

- FASSIO, L. H. *et al.* Custos e shut-down point da atividade leiteira em Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 43, n. 4, p. 759-777, 2006. DOI: 10.1590/S0103-20032005000400007
- HUY, H. T.; NGUYEN, T. T. Cropland rental market and farm technical efficiency in rural Vietnam. **Land Use Policy**, v. 81, p. 408-423, 2019. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.11.007
- IVANIC, M.; MARTIN, W. Sectoral productivity growth and poverty reduction: national and global impacts. **World Development**, v. 109, p. 429-439, 2018. DOI: 10.1016/j.worlddev.2017.07.004
- KANSIIME, M. K.; ASTEN, P. VAN; SNEYERS, K. Farm diversity and resource use efficiency: Targeting agricultural policy interventions in east Africa farming systems. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, 2017. DOI: 10.1016/j.njas.2017.12.001
- KARUNARATHNA, M.; WILSON, C. Agricultural biodiversity and farm level technical efficiency: An empirical investigation. **Journal of Forest Economics**, v. 29, p. 38-46, 2017. DOI: 10.1016/j.jfe.2017.08.002
- KUHN, L. *et al.* Technical and environmental efficiency of livestock farms in China: A slacks-based dea approach. **China Economic Review**, 2018. DOI: 10.1016/j.chieco.2018.08.009
- MA, W. *et al.* Agricultural cooperative membership and technical efficiency of apple farmers in China: An analysis accounting for selectivity bias. **Food Policy, Elsevier Science**, 2018. DOI: 10.1016/j.foodpol.2018.10.009
- MASUDA, K. Measuring eco-efficiency of wheat production in Japan: a combined application of life cycle assessment and data envelopment analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 126, p. 373-381, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.03.090
- MU, W. *et al.* Assessing the impact of uncertainty on benchmarking the eco-efficiency of dairy farming using fuzzy data envelopment analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 189, p. 709-717, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.04.091
- PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Method iordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015. DOI: 10.1007/s11192-015-1744-x
- PAULA, I. C. D. *et al.* Are collaboration and trust sources for innovation in the reverse logistics? Insights from a systematic literature review. **Supply Chain Management: An International Journal, Emerald Publishing Limited**, 2019. DOI: 10.1108/SCM-03-2018-0129
- PEÑA, C. *et al.* Environmental preservation costs and eco-efficiency in Amazonian agriculture: Application of hyperbolic distance functions. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, p. 699-707, 2018.
- SILVA, W. H. *et al.* Sustainable supply chain management: Analyzing the past to determine a research agenda. **Logistics, Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, v. 3, n. 2, p. 14, 2019. DOI: 10.3390/logistics3020014
- SEYMOUR, G. Women's empowerment in agriculture: Implications for technical efficiency in rural Bangladesh. **Agricultural Economics**, v. 48, n. 4, p. 513-522, 2017. DOI: 10.1111/agec.12352
- TOMA, P. *et al.* A non-parametric bootstrap-data envelopment analysis approach for environmental policy planning and management of agricultural efficiency in EU countries. **Ecological Indicators**, v. 83, p. 132-143, 2017. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.07.049

ULLAH, A. *et al.* Eco-efficiency of cotton-cropping systems in Pakistan: an integrated approach of life cycle assessment and data envelopment analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 134, p. 623-632, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.10.112

WANG, N. *et al.* Efficiency analysis of grain production inputs: Utilization in China from an agricultural sustainability perspective. **Agricultural Research**, v. 7, n. 1, 2018. DOI: 10.1007/s40003-018-0293-y

WBSCD - World Business Council For Sustainable Development. **Measuring Eco-efficiency: a guide to reporting company performance**, 2000. Disponível em: <http://www.gdrc.org/sustbiz/wbcsd.html>. Acesso em: 03 jun. 2019.

WORLD BANK. Agriculture, forestry, and fishing, value added (% of GDP). 2016. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.ZS>. Acesso em: 03 jun. 2019.

ZHANG, B. *et al.* Eco-efficiency analysis of industrial system in China: A data envelopment analysis approach. **Ecological Economics**, v. 68, n. 1, p. 306-316, 2008. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.03.009

ZULFIQAR, F.; DATTA, A.; THAPA, G. B. Determinants and resource use efficiency of “better cotton”: An innovative cleaner production alternative. **Journal of Cleaner Production**, v. 166, p. 1372-1380, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.08.155