

## O Antropoceno e a planificação econômico-ecológica da agricultura *The Anthropocene and the economic-ecological planning of agriculture*

**Benedito Silva Neto**

**Professor Associado da Universidade Federal da Fronteira Sul**

[bsilva@uffs.edu.br](mailto:bsilva@uffs.edu.br)

### Grupo de Trabalho (GT): GT4. Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade

#### Resumo

O termo Antropoceno designa uma época da história da Terra a partir da qual as atividades dos seres humanos passaram a influenciar decisivamente o funcionamento dos sistemas naturais que asseguram a sustentabilidade da vida no planeta. Essa influência pode ser caracterizada por meio da sua comparação com os limites que determinam a capacidade do conjunto dos sistemas naturais em suportar perturbações. Esta comparação mostra que os problemas ambientais mais graves, como a queda da biodiversidade e a perturbação dos ciclos do nitrogênio e do fósforo, estão diretamente relacionados à agricultura. Nesse artigo consideramos que, em termos econômicos, o Antropoceno pode ser interpretado como o resultado de externalidades negativas geradas pelas atividades econômicas e pelos níveis e padrões de consumo a elas associados. O principal objetivo do artigo é discutir uma planificação econômico-ecológica da agricultura que, por meio da promoção de um novo padrão tecnológico, permita a internalização de danos ambientais. O artigo é dividido em sete seções, intituladas como: 1. Introdução; 2. O Antropoceno e os limites do planeta; 3. O problema das externalidades; 4. Fundamentos teóricos e modelo formal da planificação econômico-ecológica; 5. Exemplo prático de internalização em uma cultura agrícola; 6. A ação do Estado na planificação econômico-ecológica da agricultura; 7. Considerações finais. Os resultados obtidos evidenciam a consistência teórica e a factibilidade prática da planificação econômico-ecológica da agricultura. Por outro lado, o pressuposto de que a reprodução material da sociedade passe a ser determinada pelas necessidades do conjunto da população, e não mais pela acumulação de capital, controlada pelas classes dominantes, provavelmente se constitui no principal obstáculo à implantação de uma planificação econômico-ecológica da agricultura capaz de contribuir efetivamente para o enfrentamento dos desafios colocados pelo Antropoceno.

**Palavras-chave:** Políticas públicas ambientais. Sustentabilidade da agricultura, Pagamento por serviços ambientais, Externalidades.

#### Abstract

*The term Anthropocene designates a period in Earth's history from which human activities began to decisively influence the functioning of the natural systems that ensure the sustainability of life on the planet. This influence can be characterized by comparing it to the limits that determine the capacity of all natural systems to withstand disturbances. This comparison shows that the most serious environmental problems, such as the decline in biodiversity and the disruption of the nitrogen and phosphorus cycles, are related to agriculture. In this article we consider that, in economic terms, the Anthropocene can be interpreted as the result of negative externalities generated by economic activities and the consumption levels and patterns associated with them. The objective of the article is to discuss an economic-ecological planning of agriculture that, through the promotion of a new technological standard, can internalize environmental damages. The article is divided into seven sections, entitled as follows: 1. Introduction; 2. The Anthropocene and the limits of the planet; 3. The problem of externalities; 4. Theoretical foundations and formal model of economic-ecological planning; 5. Practical example of internalization in an agricultural culture; 6. The State's action in the economic-ecological planning of agriculture; 7. Final considerations. This article's results exhibit the theoretical consistency and practical feasibility of the proposed economic-ecological planning for agriculture. On the other hand, the economic-ecological planning assumes that the material reproduction of society should be determined by the needs of the population as a whole, and no longer by the accumulation of capital, which is controlled by the dominant classes. This assumption would probably constitute the main obstacle to the implementation of an economic-ecological planning of agriculture capable of effectively contributing to facing the challenges posed by the Anthropocene.*

**Key words:** Environmental public policies. Sustainability of agriculture, Payment for environmental services, Externalities.

## 1. Introdução

Há uma crescente conscientização sobre a extrema gravidade dos problemas ambientais que ameaçam a sustentabilidade das sociedades contemporâneas. Neste cenário, além de uma intensa discussão sobre os efeitos do aquecimento global da atmosfera provocado pela emissão de gases de efeito estufa, duas abordagens vêm se destacando. A primeira relaciona-se ao emprego do termo “Antropoceno” para designar uma época da história do planeta em que as atividades humanas se tornaram as principais responsáveis pelo funcionamento dos sistemas naturais que asseguram a sustentabilidade da vida na Terra (CRUTZEN; STOERMER, 2000). A outra abordagem baseia-se na avaliação dos problemas ambientais baseada nos limites que definem a capacidade de suporte à vida no planeta Terra (RICHARDSON et. al., 2023).

Uma forma interessante de avaliar os danos ambientais que caracterizam o Antropoceno é pela associação dessas duas abordagens, comparando a magnitude dos seus efeitos com os limites que seriam suportáveis pelo Sistema Terra (CASTREE, 2017). Como veremos, de acordo com essa avaliação, os maiores desses impactos estão diretamente relacionados aos efeitos negativos da agricultura sobre o ambiente.

Nesse artigo consideramos que, em termos econômicos, o Antropoceno pode ser interpretado como o resultado de uma ampla e diversificada geração de externalidades negativas pelas atividades econômicas e pelos níveis e padrões de consumo a elas associadas. Porém, a complexidade dessas externalidades, de natureza não aditiva, difusa e sistêmica, torna as teorias propostas pela economia neoclássica pouco adequadas para embasar medidas destinadas ao enfrentamento dos desafios colocados pelo Antropoceno.

Diante do exposto, o principal objetivo deste artigo é discutir uma planificação econômico-ecológica da agricultura que, por meio da definição de um sistema de preços que promova a adoção de um novo padrão tecnológico, permita a internalização dos danos ambientais provocados por este setor. Para tanto, este artigo está organizado em seis seções. Considerando a primeira seção como esta introdução, na segunda é realizada uma breve discussão do Antropoceno, salientando a sua relação com os limites às perturbações que ameaçam a sustentabilidade da vida no planeta. Na terceira seção é realizada uma discussão do problema das externalidades, onde procuramos evidenciar as inconsistências da abordagem neoclássica e como um processo de planificação econômico-ecológica pode contribuir para superá-las. Na quarta seção são discutidos os aspectos teóricos básicos da planificação econômico-ecológica proposta, assim como o modelo formal sobre o qual se baseia a sua aplicação. Na quinta seção apresentamos um exemplo prático de aplicação do modelo para a internalização dos custos e dos benefícios de uma mudança tecnológica na cultura do milho. Na sexta seção são discutidas ações do Estado que podem ser realizadas para a promoção da planificação proposta. Na sétima seção são realizadas as considerações finais.

## 2. O Antropoceno e os limites do planeta

Entre 12.000 e 10.000 anos atrás teve início o Holoceno, uma nova época do planeta Terra. Com o fim da última glaciação, houve um aumento significativo da temperatura e das precipitações pluviométricas, tornando o clima mais estável e favorável à vida. Grandes formações vegetais então se desenvolvem e os animais se multiplicam. Neste ambiente, os seres humanos podem passar a maior parte do tempo ao ar livre, o que lhes permite coletar e caçar seu alimento com mais facilidade. Em determinadas regiões, os seres humanos começam então a manejar ecossistemas de forma a favorecer espécies das quais eles se alimentam. Neste processo, surgem a agricultura e a pecuária (MAZOYER; ROUDARD, 2010). A partir de então,

boa parte da Humanidade se sedentarizou, construindo cidades e desenvolvendo um grande número de civilizações.

Há cerca de 300 anos ocorre outra mudança, também de importância crucial. Os seres humanos passam a dominar técnicas, especialmente as relacionadas à exploração de novas fontes de energia, que lhes permite aumentos na produtividade do trabalho extraordinários, impensáveis anteriormente. Praticamente todas as atividades humanas são atingidas, em termos quantitativos e qualitativos. A população humana se multiplica de forma extremamente acelerada, o que é acompanhado por um aumento igualmente extraordinário das suas atividades econômicas, altamente dependentes das novas fontes de energia, especialmente as de origem fóssil como o carvão, o gás e o petróleo.

A partir das últimas décadas assistimos a mais um fenômeno crucial para a Humanidade. Os impactos das atividades econômicas dos seres humanos já não podem ser absorvidos pelos processos homeostáticos da biosfera. Por exemplo, os grandes ciclos biogeoquímicos, como os do carbono, da água, do nitrogênio e do fósforo, são significativamente perturbados. Novas substâncias (dentre as quais se destaca o plástico, dentre outros poluentes) são lançadas no ambiente, com efeitos destrutivos. Essas mudanças, entre outras (pois, infelizmente, há muitas delas), provocam alterações drásticas nos ecossistemas a ponto de muitos deles serem destruídos em ritmo acelerado. A estabilidade do Holoceno, que tanto favoreceu o florescimento da vida na Terra (especialmente o da espécie humana), é seriamente ameaçada. É o advento do Antropoceno, termo proposto para designar uma nova época geológica, na qual a espécie humana se tornou o principal fator evolutivo do planeta (CRUTZEN; STOERMER, 2000).

Embora a data de início do Antropoceno seja motivo de controvérsia, há certo consenso que ela se situa na quadra histórica em que as relações sociais capitalistas se desenvolvem, observando-se uma “grande aceleração” desde 1850 e, principalmente, depois da Segunda Grande Guerra. Por isto, o termo Antropoceno tem sido contestado pelo argumento de que ele dificulta a identificação das causas dos problemas ambientais que lhe deram origem, atribuindo-as indistintamente a todos os seres humanos (STUBBLEFIELD, 2018). Neste sentido, vários autores propõem o termo Capitaloceno como mais adequado do que Antropoceno, pois ele expressaria com mais clareza as relações causais existentes entre a dinâmica do capitalismo e a atual crise socioambiental (MOORE, 2016). No nosso entendimento, porém, essa substituição poderia induzir a pensar que a simples superação do capitalismo poderia ser suficiente para a reconstituição da capacidade de auto-organização dos sistemas naturais de absorver as perturbações das atividades humanas, o que é uma hipótese pouco plausível. A nosso ver, a importância do termo Antropoceno é que ele designa uma mudança qualitativa e irreversível nas relações entre a sociedade e a natureza, a qual exige que os seres humanos doravante, em seu conjunto, assumam consciente e efetivamente a sua responsabilidade sobre a manutenção das condições para a vida na Terra. Em suma, a superação do sistema capitalista pode ser uma condição necessária, mas não suficiente, para assegurar a sustentabilidade material das sociedades contemporâneas.

Apesar dos registros estratigráficos presentes na crosta terrestre terem sido considerados insuficientes pela União Internacional de Ciências Geológicas para o reconhecimento oficial do Antropoceno, não resta dúvidas de que, com base nas crescentes perturbações observadas na relativa estabilidade do Holoceno, já ultrapassamos o ponto em que houve uma mudança qualitativa nas relações entre as sociedades humanas e o conjunto dos sistemas naturais responsáveis pela sua sustentabilidade (KELLNER, 2024). Diante disto, porém, as sociedades humanas têm se mostrado incapazes de reconhecer a responsabilidade que o Antropoceno implica para a Humanidade. A desestabilização do Sistema Terra se aprofunda, com o impacto

das atividades da espécie humana já tendo ultrapassado seis dos nove limites suportáveis do planeta definidos por Richardson et al. (2023), conforme mostra a figura 1.

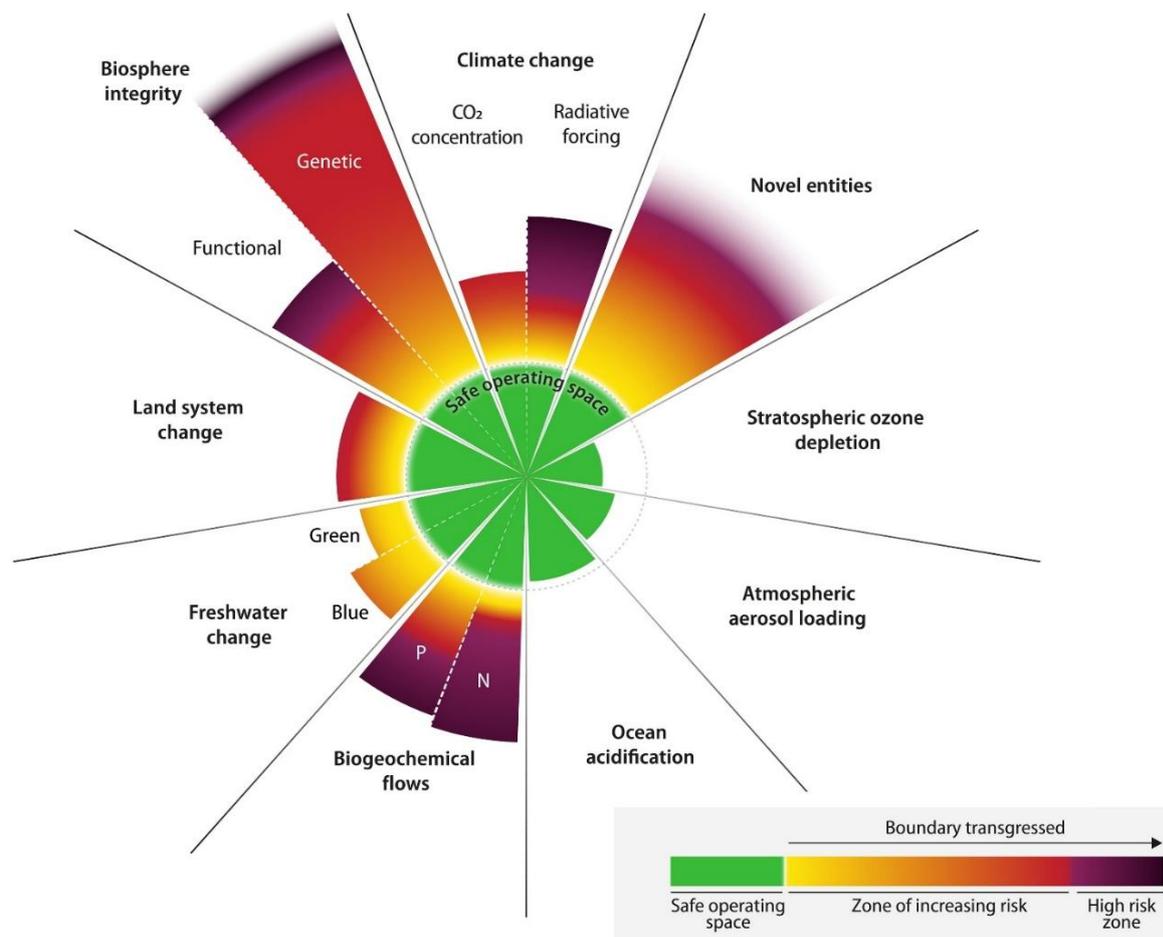


Figura 1: Os limites do Sistema Terra e os efeitos das atividades humanas  
 Fonte: RICHARDSON et al., (2023).

Como pode ser observado na figura 1, os problemas mais graves relacionados à transgressão dos limites considerados seguros para o funcionamento do Sistema Terra são os relativos à integridade da biosfera (que no artigo é atribuída à queda da biodiversidade) e aos ciclos biogeoquímicos do nitrogênio e do fósforo. Esses problemas estão fortemente relacionados à agricultura. Neste sentido, os autores afirmam que o uso intensivo de agrotóxicos pela agricultura tem sido apontado como uma das principais causas da degradação da integridade da biosfera, sendo a redução do nitrogênio atmosférico para a síntese de adubos considerada a principal causa da liberação de compostos de nitrogênio reativo no ambiente. Quanto ao fósforo, a sua mineração para a fabricação de adubos é a principal responsável pelo aumento da sua circulação na biosfera. Como já mencionado, de um ponto de vista econômico, os problemas ambientais relacionados ao Antropoceno podem ser interpretados como externalidades negativas, as quais, portanto, de alguma forma devem ser internalizadas para que a sustentabilidade da reprodução material das sociedades humanas possa ser promovida. No entanto, para que tal internalização possa ser realizada é necessário que ela se baseie em teorias científicas rigorosamente fundamentadas. A próxima seção é dedicada à discussão de tais fundamentos.

### 3. O problema das externalidades

As teorias econômicas mais conhecidas relacionadas ao problema das externalidades foram desenvolvidas por autores neoclássicos. No início do século XX, Alfred Marshall desenvolveu uma teoria para analisar os efeitos, positivos ou negativos, que certas atividades econômicas exercem sobre outras, sem que tais efeitos tenham sido considerados nas decisões tomadas pelos agentes econômicos (MARSHALL, 1920, p. 152), o que atualmente os caracteriza como externalidades. Mas foi um discípulo de Marshall, Arthur Cecil Pigou, que elaborou uma teoria das externalidades que pode ser considerada como um dos principais fundamentos das abordagens atuais. Essa influência se deve principalmente à proposta de Pigou (1932, p. 101) de internalizar as externalidades negativas por meio da tributação do agente econômico que a gera, o que implica a necessidade de intervenção do Estado.

A teoria de Pigou (1932), especialmente no que diz respeito à internalização por meio da tributação das atividades que geram externalidades, foi criticada por Coase (1960). Segundo este autor, os custos causados por externalidades são recíprocos pois, se uma atividade gera externalidades à outra atividade, as medidas para evitar essa externalidade também gera custos. Para Coase (1960), na ausência de custos de transação, a solução para o problema das externalidades (ou, custos sociais, como expressado pelo autor), pode ser obtida por meio de uma negociação entre as partes para definir se o agente econômico cuja atividade é prejudicada pela externalidade deve ser indenizado, ou se o agente econômico cuja atividade gera a externalidade deve ser pago para que ele tome medidas para evita-la (como, por exemplo, mudando as suas técnicas de produção). Uma condição necessária para que a negociação entre os agentes que causam externalidades e os agentes econômicos que sofrem prejuízos devido a elas é uma definição precisa dos direitos de propriedade, os quais devem ser assegurados pelo Estado.

No caso em que há custos de transação, porém, a negociação entre os agentes econômicos só seria interessante se os danos provocados pela externalidade forem maiores do que esses custos de transação. Coase (1960) salienta, aliás enfaticamente, que no mundo real os custos de transação em geral são elevados, dependendo do número de agentes envolvidos e da eficiência do Estado em intermediar as negociações.

O “Teorema de Coase”, proposto por Stigler (1966), afirma que, em condições de competição perfeita o nível da produção se encontra no ponto em que os custos marginais das externalidades e os benefícios marginais para evita-las se igualariam, o que possibilita que os mecanismos de mercado sejam eficientes para internalizar as externalidades ambientais desde que os direitos de propriedade sejam precisamente definidos e não haja custos de transação. Isto implica que a causa da externalidade seria a indefinição dos direitos de propriedade e não as características dos processos produtivos, as quais podem apenas favorecer o surgimento de externalidades, mas não seriam a sua causa. Este teorema, assim, contribui para embasar políticas de internalização de danos ambientais baseadas na privatização para definir os direitos de propriedade e em intervenções do Estado com o objetivo de diminuir os custos de transação (o que muitas vezes implica em limitar a própria ação do Estado).

O Teorema de Coase, porém, tem sido objeto de uma intensa polêmica (MEDEMA; ZERBE, 2000), com certos autores sustentando que ele é contraditório com a importância central que o próprio Coase atribuía aos custos de transação (YALCINTAS, 2010). As críticas feitas ao Teorema de Coase são as mais diversas, desde as centradas no seu irrealismo em considerar a ausência de custos de transação até aquelas que limitam a validade do teorema, em termos formais, a condições muito específicas. Uma crítica formal interessante, especialmente para os propósitos deste trabalho, é que o Teorema de Coase só é válido no caso em que os custos dos agentes econômicos envolvidos são aditivamente separáveis, ou seja, independentes

uns dos outros. Porém, quando esses custos não são independentes, como no caso em que o produto de uma atividade econômica é empregado por outra, afetando o seu custo de produção, o Teorema de Coase não é formalmente válido (HAHN; STAVINS, 2011).

Apesar do Teorema de Coase desfrutar de uma considerável aceitação no plano teórico, em geral, mesmo entre os autores neoclássicos, se considera que uma intervenção do Estado que vai além da definição de direitos de propriedade é praticamente incontornável diante das externalidades, ou seja, que as externalidades se constituem em verdadeiras falhas de mercado, mesmo no caso de direitos de propriedade perfeitamente definidos e custos de transação nulos. Neste sentido destaca-se o trabalho de Weitzman (1974) que considera que é possível efetuar a internalização por meio da limitação às quantidades físicas dos produtos que causam as externalidades. Neste sentido o autor demonstra que, em condições de certeza, a internalização realizada por meio da tributação ou por meio da limitação das quantidades são formalmente equivalentes.

Na medida em que a teoria proposta por Weitzman (1974) pode ser considerada como o fundamento das abordagens comumente adotadas para analisar as externalidades, especialmente quando têm o objetivo de definir medidas de intervenção estatal, é interessante reproduzir aqui alguns dos seus elementos essenciais. Assim, para o autor, o problema das externalidades pode ser abordado a partir das funções que descrevem as relações entre preços (que definem o valor da tributação) e quantidades, no que diz respeito aos benefícios sociais decorrentes da diminuição da externalidade e os seus custos para as empresas. A partir dessas relações é possível definir um nível ótimo de internalização determinando a quantidade  $q^*$  e o preço  $p^*$  que correspondem à solução do seguinte problema de otimização,

$$\text{Maximizar } B(q) - C(q) \quad (1)$$

por meio de,

$$B'(q) = C'(q) \quad (2)$$

respeitando as seguintes condições,

$$B''(q) < 0 \quad (3)$$

$$C'(q) > 0 \quad (4)$$

$$B'(0) = C'(0) \quad (5)$$

$$B'(q) < C'(q) \quad (6)$$

sendo que a condição descrita na expressão (6) só deve ocorrer em quantidades suficientemente elevadas de  $q$ .

Nas condições descritas por este modelo, o preço  $p^*$  e a quantidade  $q^*$  são definidos pelo ponto em que a derivada primeira do benefício  $B(q)$ , representada por  $B'(q)$ , e do custo  $C(q)$ , representada por  $C'(q)$ , possuem valores idênticos. Assim, para os agentes econômicos, em condições de certeza, seria indiferente o pagamento de um tributo ao preço  $p^*$  ou a limitação da quantidade em  $q^*$  unidades físicas.

Um exemplo numérico simples pode ilustrar o comportamento das funções definido pelo modelo descrito acima. Suponhamos o estabelecimento de uma política de redução da emissão na atmosfera de gases de efeito estufa (GEE) por meio da qual se deseja determinar a quantidade e o preço do “carbono” (denominação normalmente adotada pelo fato do dióxido de carbono -  $\text{CO}_2$  - ser o principal GEE). Os resultados desse exemplo são mostrados nas figuras 2 e 3.

De acordo com a figura 3, o preço ótimo a ser atribuído à emissão do poluente é de 120 unidades monetárias e a quantidade ótima que deve ser exigida de redução é de 6 unidades físicas. É interessante observar que o modelo descrito acima, basicamente, é o que fundamenta teoricamente o estabelecimento de “mercados de carbono” (também designada por políticas de “cap-and-trade”), nos quais, a partir da definição de uma quota de emissão, as empresas cujas

emissões se encontram abaixo dessa quota podem vender parte dela às empresas cujas emissões se encontram acima, o que pode implicar menos custos para estas últimas do que efetuar as mudanças tecnológicas (ou outros ajustes em seus processos produtivos) para reduzir as suas emissões.

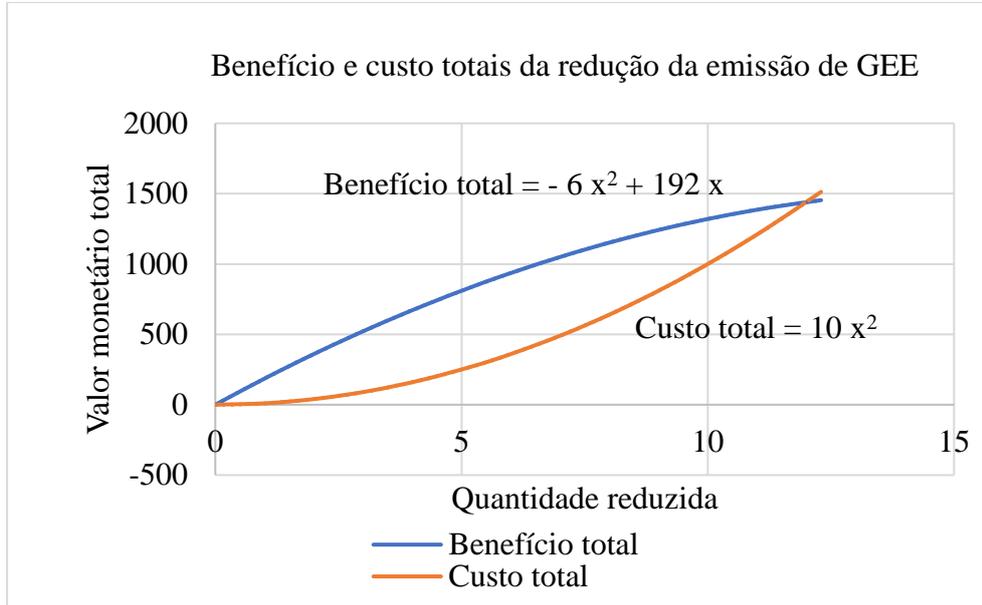


Figura 2: Exemplo do comportamento de funções de benefício e custo totais da redução da emissão de GEE.  
 Fonte: elaborado pelo autor.

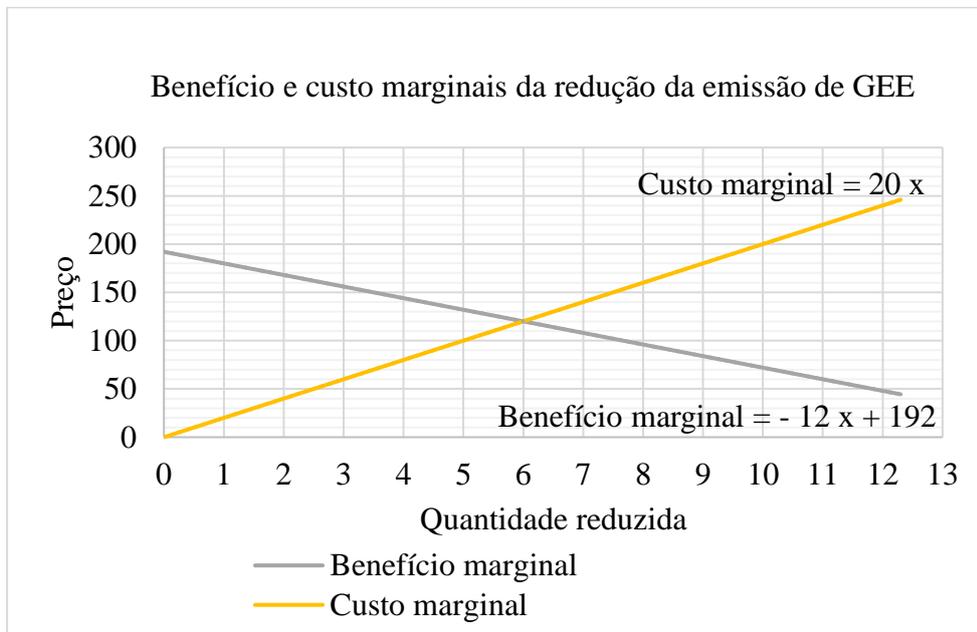


Figura 3: Exemplo de comportamento das funções de benefício e custo marginais da redução da emissão de GEE.  
 Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo Weitzman (1974), mesmo no caso, mais realista, das funções de benefício e de custo não serem obtidas em condições de certeza, o modelo continua válido. No entanto, em

condições de incerteza a simetria entre políticas baseadas em tributação (preços) e quantidades (como o estabelecimento de quotas) já não é mais observada. No caso em que, em termos absolutos, a declividade da curva de benefício marginal,  $B'(q)$ , for maior do que a da curva de custo marginal,  $C'(q)$ , nas imediações do seu ponto de intersecção, a tributação (por meio da precificação) implicaria menos custos, sendo a fixação de quantidades mais vantajosa no caso contrário.

Alguns autores, citando inclusive casos de políticas estabelecidas nos Estados Unidos da América e na Europa, observaram maiores dificuldades na implantação de políticas de tributação em relação a políticas de cap-and-trade (GRUBB, HOURCADE; NEUHOFF, 2014, p. 203). Isto porque, argumentam esses autores, as políticas de cap-and-trade expressam com mais clareza os objetivos a serem atingidos sendo, também, mais estimulantes aos agentes econômicos. Esses mesmos autores, porém, têm apontado sérias dificuldades em usar o conceito de externalidade para o enfrentamento dos problemas provocados pelas emissões de GEE (GRUBB, HOURCADE; NEUHOFF, 2014, p. 31). A principal limitação do conceito de externalidade, alegam os autores, é a dificuldade de precificar os custos e os benefícios a ele associados devido ao caráter global, difuso e sistêmico das externalidades negativas envolvidas. Embora sem contestar teoricamente a abordagem neoclássica do conceito de externalidade (na medida que, como mencionado, eles mesmos propõem políticas baseadas nesse conceito), os autores afirmam que, de maneira geral, o enfrentamento dos problemas que ameaçam o Sistema Terra, especialmente os relacionados ao aquecimento global da atmosfera, deveriam ser encarados mais como problemas de segurança e gestão de risco, do que como externalidades. Isto poderia proporcionar mais flexibilidade aos processos de internalização empregados para precificar os danos provocados pelos problemas ambientais.

Neste trabalho entendemos que as dificuldades relacionadas ao conceito de externalidade proposto por autores neoclássicos se encontram nas inconsistências teóricas apresentadas pela abordagem dessa corrente, e não apenas no seu irrealismo ou nas suas dificuldades operacionais. Essas inconsistências decorrem, fundamentalmente, do pressuposto adotado pelos neoclássicos de que a solução dos problemas ambientais deve estar subordinada à otimização da utilidade representada pelo consumo, calculada pela maximização da diferença entre custos e benefícios monetários. Porém essa maximização não assegura que o grau de limitação por ela provocado aos danos ambientais seja suficiente para que o funcionamento dos sistemas naturais se torne compatível com a sustentabilidade do Sistema Terra. Além disto, a decisão de internalizar custos, no modelo neoclássico, implica em limitações à produção e ao consumo no presente para preservar ou aumentar a produção e o consumo no futuro. Isto, por sua vez, implica em calcular valores futuros de certas variáveis, como a taxa de desconto, que expressa a preferência dos consumidores pelo presente (FREDERICK; LOEWENSTEIN; O'DONOCHUE, 2002), e as relativas ao sentido e a intensidade das futuras mudanças tecnológicas. É importante salientar que os valores definidos para essas variáveis influenciam decisivamente os resultados da análise custo-benefício efetuada para a internalização de danos ambientais (NORDHAUS; BOYER, 2000, p. 16). De forma mais radical, Weitzman (2009a) apresenta um “dismal theorem” (algo como “teorema sombrio”), por meio do qual o autor demonstra que as incertezas relacionadas aos danos à sociedade provocados pelas emissões de GEE, assim como a magnitude potencialmente catastrófica desses danos, são tão elevadas que elas impossibilitam a aplicação da análise custo-benefício para tratar esse problema.

Diante do exposto nesta seção, neste artigo sustentamos a necessidade de uma planificação econômico-ecológica da agricultura que, a partir da consideração do funcionamento da economia em termos físicos, possibilite a determinação de um sistema de preços que internaliza o custo das mudanças tecnológicas necessárias para evitar danos ambientais, considerando as técnicas de produção efetivamente existentes. Os fundamentos

teóricos dessa planificação e a estrutura formal do modelo sobre o qual ela se baseia são discutidos na seção seguinte.

#### **4. Fundamentos teóricos e modelo formal da planificação econômico-ecológica**

Sato (2022) sustenta que a abordagem de Georges Lukács desenvolvida em sua obra “História e Consciência de Classe” (LUKÁCS, 1960) pode ser considerada como uma concepção teórica marxista sobre as relações entre a sociedade e a natureza relevante para o enfrentamento dos problemas colocados pelo advento do Antropoceno. Nesta perspectiva (embora considerando a obra de Lukács de forma mais ampla) o referencial teórico adotado para fundamentar a planificação econômico-ecológica proposta neste trabalho é baseado, essencialmente, nas obras de Lukács sobre a ontologia do ser social (LUKÁCS, 2009, 2011, 2012). Alguns dos aspectos mais importantes desse referencial são discutidos a seguir.

Baseando-se na obra de Marx, Lukács afirma que o trabalho humano é o principal determinante das relações entre as sociedades e a natureza, constituindo-se no processo fundamental da atividade econômica (LUKÁCS, 2009). Neste sentido, o processo de trabalho integra dois momentos distintos (LUKÁCS, 2012, p. 87). O momento ideal tem início com o reflexo da realidade sobre a consciência do sujeito, o qual a interpreta para definir uma posição teleológica, ou seja, uma concepção consciente do objeto a ser produzido. Já o momento real consiste na manipulação dos processos causais que possibilitam a fabricação do objeto concebido, o qual, depois de produzido, deve ser avaliado quanto a sua correspondência com o objeto concebido.

A importância crucial da definição de uma posição teleológica faz com que, no processo material e histórico de trabalho, surja a distinção entre sujeito e objeto pelo ser humano (LUKÁCS, 2009, p. 75). Essa subjetividade implica que certa liberdade é inerente a toda atividade econômica, o que acentua o seu caráter histórico. O processo de trabalho, portanto, não é determinado mecanicamente pelas condições materiais existentes. Quanto maior o domínio dos processos causais pelos seres humanos e maior a diversidade de objetos que podem ser produzidos, maior a liberdade de escolha do ser social (LUKÁCS, 2011, p. 205).

Nas sociedades modernas, porém, o processo de trabalho se complexifica. A divisão do trabalho aprofunda o seu caráter social (LUKÁCS, 2011, p. 219). Nessas sociedades, via de regra, o trabalho efetuado nas unidades de produção não é voltado para o consumo dos próprios produtores. Além disto, os meios de produção empregados pelas unidades de produção são gerados por outras. Nessas condições, é necessário que a quantidade dos recursos naturais explorados e dos meios de produção fabricados sejam coerentes com a sua demanda ao longo das “cadeias” produtivas (que são, na verdade, redes matriciais) responsáveis pela geração dos produtos de consumo final, os quais, por sua vez, devem ser produzidos de acordo com a demanda agregada dos consumidores. Isto implica em uma coordenação suficientemente precisa das posições teleológicas de um grande número de agentes econômicos, especialmente no que diz respeito à escolha das técnicas e as quantidades produzidas. Essa coordenação é realizada por meio dos preços, os quais se constituem no principal condicionante do comportamento dos agentes econômicos nas unidades de produção.

As posições teleológicas fundamentais que determinam os preços são definidas por decisões coletivas tomadas pela sociedade sobre as suas riquezas. Nas condições históricas do capitalismo, essas decisões coletivas, determinadas pela luta de classes, estão sujeitas à uma forte dominação, exercida pelos capitalistas. Isto faz com que tais decisões sejam tomadas tendo como prioridade os interesses dessa classe e não as necessidades do conjunto da sociedade. O resultado desse processo é a subordinação da reprodução material da sociedade à acumulação de capital, a qual é veiculada pela ideologia das classes dominantes (que se expressa, inclusive,

na teoria econômica neoclássica), como um processo autônomo, o que obscurece o seu caráter conflitivo (SILVA NETO, 2023). Além disto, como a acumulação de capital é impulsionada pelo aumento da produção (e, portanto, do consumo) a subordinação da reprodução material da sociedade à acumulação de capital exacerba a exploração dos recursos naturais, assim como as externalidades negativas das atividades econômicas.

As considerações realizadas nos parágrafos anteriores constituem-se em uma síntese do referencial teórico adotado por Silva Neto (2020, 2023) para a elaboração de um modelo de programação linear que formaliza a estrutura básica das economias monetárias modernas. Neste modelo, o tempo de trabalho socialmente necessário à produção é o principal agregado que orienta os processos produtivos. Em termos matemáticos, isto implica em minimizar o tempo de trabalho necessário para a satisfação da demanda de produtos de consumo final e dos meios de produção, dado certo grau de exploração dos recursos naturais. O problema primal desse modelo pode ser descrito como,

$$\text{Função objetivo: } \textit{Minimizar} \sum c_i^l q_i^l + \sum c_z^x m_z^x \quad (7)$$

sujeita às restrições

$$\sum q_i^l \geq D_i \quad (8)$$

$$\sum \alpha_{ui}^l q_i^l \leq R_u \quad (9)$$

$$\sum m_z^x - \sum a_{iz}^l q_i^l \geq v_z M_z \quad (10)$$

$$\sum \sigma_{jz}^x k_z^x \leq R_j \quad (11)$$

onde,

$c_i^l$  = quantidade  $c$  de trabalho necessária por unidade do produto de consumo final  $i$  com a técnica  $l$ .

$q_i^l$  = quantidade  $q$  do produto de consumo final  $i$  fabricado com a técnica  $l$ .

$R_u$  = quantidade máxima  $R$  do recurso natural  $u$  a ser utilizada para a geração de produtos de consumo final (como a terra, no caso da agricultura).

$c_z^x$  = quantidade  $c$  de trabalho necessário por unidade de meio de produção  $z$  gerado com a técnica  $x$ .

$m_z^x$  = quantidade  $m$  do meio de produção  $z$  gerado com a técnica  $x$ .

$D_i$  = quantidade demandada  $D$  de produto  $i$ .

$M_z$  = excedente do meio de produção  $z$  gerado (no caso de reprodução ampliada; reprodução simples:  $M_z = 0$ ).

$v_z$  = vida útil do meio de produção  $z$  (para meios de produção monocíclicos, como insumos químicos,  $v_z = 1$ ).

$a_{iz}^l$  = quantidade  $a$  do meio de produção  $z$  necessária para produzir uma unidade do produto de consumo final  $i$  gerado com a técnica  $l$ .

$\alpha_{ui}^l$  = quantidade  $\alpha$  de recurso natural  $u$  necessária para a geração do produto de consumo final  $i$  com a técnica  $l$ .

$\sigma_{jz}^x$  = quantidade  $\sigma$  de recurso natural  $j$  necessário para a produção do meio de produção  $z$  com a técnica  $x$ .

$R_j$  = quantidade máxima  $R$  do recurso natural  $j$  a ser explorada para a geração de meios de produção.

Salientamos que as variáveis do modelo correspondem a fluxos e não a estoques, inclusive as relativas aos recursos naturais. No caso em que  $v_z > 1$  e  $M_z > 0$ ,  $v_z M_z$  corresponde à formação de estoque de um meio de produção multicíclico. É importante salientar que as variáveis do lado direito das restrições são exógenas, ou seja, elas são informações de entrada no modelo

não podendo, portanto, ser determinadas pela sua solução. Esta característica reflete a natureza política da determinação dos valores dessas variáveis.

A partir da transposição da matriz do problema primal é obtido o problema dual, o qual fornece os preços dos produtos de consumo final e dos meios de produção, assim como as rendas dos recursos naturais geradas devido à sua escassez, que maximizam o valor agregado, considerando a demanda de produtos, a disponibilidade de recursos e as condições técnicas de produção. Esse problema dual pode ser formulado como,

$$\text{Função objetivo: } \text{Maximizar } \sum D_i p_i + \sum v_z M_z p_z - R_u r_u - \sum R_j r_j \quad (12)$$

sujeita às restrições

$$p_i - \sum a_{zi}^l p_z - \sum \alpha_{ui}^l q_i^l \leq c_i^l \quad (13)$$

$$p_z - \sum \sigma_{zj}^x r_j \leq c_z^x \quad (14)$$

onde, além das variáveis do problema primal, já descritas, temos,

$p_i$  = preço do produto de consumo final  $i$ .

$p_z$  = preço do meio de produção  $z$ .

$r_i$  = renda gerada pela escassez do recurso natural  $i$  (empregado diretamente para a geração de produtos de consumo final).

$r_j$  = renda gerada pelo recurso natural  $j$  (empregado diretamente para a geração de meios de produção).

De acordo com o teorema da dualidade, com as soluções ótimas temos,

$$\text{Mínimo } \sum c_i^l q_i^l + \sum c_z^x m_z^x = \text{Máximo } \sum D_i p_i + \sum v_z M_z p_z - R_u r_u - \sum R_j r_j \quad (15)$$

Observa-se que a expressão (15) descreve que o valor total em tempo de trabalho é equivalente ao valor agregado, obtido pelo valor monetário total subtraído das rendas. Neste sentido, é importante salientar que os preços fornecidos pelo modelo correspondem a valores marginais (e não médios, o que, em termos marxistas, os diferencia do valor), na medida em que as variáveis do problema dual que expressam os preços correspondem à variação de uma unidade do valor da função objetivo do problema primal provocada pela variação de uma unidade dos coeficientes do lado direito das suas restrições.

As expressões (13) e (14) descritas no problema dual, macroeconômico, de formação dos preços, possuem uma estrutura semelhante à da equação normalmente empregada para calcular o valor agregado nas unidades de produção. No entanto, neste caso, as rendas diferenciais geradas pela escassez de recursos naturais encontram-se adicionadas ao valor agregado (quando se trata de atividades que utilizam diretamente recursos naturais). Desta forma, considerando a expressão (13), o “valor agregado” (como considerado no cálculo microeconômico, que pode estar acrescido de rendas), pode ser calculado por meio da sua multiplicação pela quantidade produzida, ou seja,

$$Qc_i^l = Qp_i - Q\sum a_{zi}^l p_z - Q\sum \alpha_{ui}^l q_i^l \quad (16)$$

$$VA = Qc_i^l + Q\sum \alpha_{ui}^l q_i^l = Qp_i - Q\sum a_{iz}^l p_z \quad (17)$$

No conjunto da economia, a quantidade total dos meios de produção que requerem apenas um ciclo para serem consumidos deve ser novamente produzida, assim como a parte dos meios de produção que requerem mais de um ciclo de produção. Mas, em uma unidade de produção, evidentemente não é possível repor apenas uma parte dos meios de produção que requerem mais de um ciclo para serem consumidos. Assim, é necessário considerar a depreciação no ciclo sofrida por tais meios de produção. Quando a expressão (13) é considerada

do ponto de vista microeconômico, os meios de produção que são consumidos no ciclo são denominados de “consumo intermediário” ( $CI$ ) e o valor monetário por ciclo que deve ser acumulado para a reposição dos meios de produção multicíclicos de “depreciação” ( $D$ ), ou seja,

$$Q \sum a_{iz}^l \beta_z = CI + D \quad (18)$$

E considerando um “produto bruto” ( $PB$ ) definido como,

$$PB = Q p_i \quad (19)$$

Combinando as expressões (17), (18) e (19), é obtida a expressão que é empregada para o cálculo do valor agregado em unidades de produção (DUFUMIER, 2010, p. 101),

$$VA = PB - CI - D \quad (20)$$

No caso de produções que dependem apenas indiretamente de recursos naturais, o valor agregado calculado nas unidades de produção é o equivalente monetário ao tempo de trabalho necessário à produção quando foram empregadas técnicas eficientes, isto é, as que induzem os agentes econômicos a tomar decisões nas unidades de produção coerentes com as decisões coletivas tomadas pela sociedade sobre as suas riquezas. No caso da aplicação de técnicas não eficientes, o valor agregado será inferior ao equivalente monetário do trabalho diretamente aplicado na produção. O valor agregado, portanto, é um critério de decisão microeconômico eficiente, na medida em que a sua maximização induz ao emprego de técnicas eficientes nas unidades de produção.

É importante salientar que o conceito de eficiência aqui adotado é distinto do proposto pela escola neoclássica. Neste artigo denominamos preços de reprodução os que induzem os agentes econômicos a escolher técnicas eficientes, ou seja, aquelas levam ao uso dos recursos de acordo com o nível e o perfil da demanda, os investimentos e a exploração dos recursos naturais previstos pela planificação.

Um obstáculo importante para a aplicação prática desse modelo é que os coeficientes da função objetivo do problema primal, que correspondem aos coeficientes do lado direito das restrições do problema dual, são expressos em tempo de trabalho por unidade de produto. Além de exigir a contabilidade do tempo de trabalho requerido por cada técnica de produção (o que raramente é feito pelos sistemas de análise econômica comumente empregados), isto torna os resultados fornecidos pelo modelo de difícil interpretação à luz das unidades monetárias vigentes (como o real, no caso brasileiro).

Essas dificuldades foram contornadas pela parametrização do modelo empregando o valor agregado monetário, ou uma categoria diretamente a ele relacionada (como o valor agregado bruto), no lugar do tempo de trabalho. Essa alteração pode ser justificada pelo fato de que, como demonstrado nos parágrafos anteriores, o valor agregado teoricamente corresponde ao equivalente monetário do tempo de trabalho socialmente necessário. Por outro lado, neste caso, o modelo torna-se tautológico, pois os preços utilizados para o cálculo do valor agregado, que passa a constar na função objetivo do problema primal (e nos coeficientes do lado direito das restrições do modelo dual), são os mesmos fornecidos pela solução do problema dual. Isto implica que a solução do modelo aponte todas as técnicas como eficientes, impossibilitando simulações por meio da alteração dos valores das quantidades físicas que constam no lado direito das restrições do problema primal e na função objetivo do problema dual. Além disto, nesse modelo as rendas diferenciais se encontram inseridas no valor agregado. No entanto, com base na parametrização do modelo empregando os valores agregados monetários no lugar dos

tempos de trabalho, pode-se realizar simulações alterando esses valores, para a obtenção de um novo sistema de preços que internaliza os custos das mudanças para as técnicas que permitem evitar danos ambientais, explicitando, inclusive, as novas rendas diferenciais relacionadas a recursos naturais escassos. Um exemplo de aplicação prática desse método de internalização é discutido na seção seguinte.

## 5. Exemplo prático de internalização em uma cultura agrícola

Neste exemplo será analisada a cultura do milho de duas unidades de produção observadas no município de Ijuí, Rio Grande do Sul (SILVA NETO, 2021, p. 39). A cultura de milho foi escolhida pela grande diversidade dos sistemas de produção existentes na região do município, os quais utilizam diferentes quantidades de insumos e equipamentos de origem industrial, sendo praticados por várias categorias sociais de agricultores. Esta diversidade pode ser explicada pelo fato do milho ser utilizado para diferentes finalidades, desde a alimentação animal no interior das unidades de produção (inclusive aves e suínos para consumo da família) até a comercialização. Esta diversidade da cultura do milho, por exemplo, é muito maior do que a apresentada pela cultura da soja.

Um dos sistemas de cultura de milho analisado é praticado em uma unidade de produção patronal, com uma superfície agrícola útil de 172 hectares, a qual pode ser considerada elevada para os padrões da região. A produção comercial é formada exclusivamente por culturas anuais de grãos, com as culturas da soja (150 hectares) e do milho (20 hectares) sendo produzidos na estação quente seguidos pela cultura do trigo (100 hectares), da aveia preta (50 hectares) no mesmo ano. Além desses grãos destinados à comercialização, a unidade de produção patronal desenvolve atividades voltadas para o consumo da família como a criação de bovinos para carne e leite, de aves e a cultura da mandioca (2 hectares no total). Essa unidade de produção patronal apresenta um elevado nível de acumulação, possuindo um parque de máquinas completo (tratores, colhedoras e caminhões), assim como uma grande quantidade de implementos (arados, grades e pulverizadores, entre outros), para a produção de grãos. O uso de insumos químicos é elevado em relação ao usualmente empregado na região.

A outra unidade de produção possui mão de obra exclusivamente familiar, dispendo de 30 hectares, o que a situa dentro do padrão mais frequente de superfície da região. A produção comercial é representada pelas culturas da soja (22 hectares) e do milho (6 hectares), e a de subsistência pelas culturas da mandioca (0,3 hectares), do feijão (0,3 hectares) e das batatas doce e inglesa (consorciadas em 0,4 hectares), assim como pela bovinocultura (um hectare) e pela criação de aves em torno da moradia.

As principais características técnicas e econômicas da produção de milho nessas duas unidades de produção são mostradas na tabela 1. Como se pode observar nessa tabela, o rendimento da cultura do milho, assim como o uso de insumos, na unidade patronal é maior do que na unidade familiar. No sistema de preços vigente, o valor agregado bruto por superfície da produção de milho na unidade patronal é R\$ 585,35 a mais do que o auferido na unidade familiar. Isto explica porque políticas de preços ou de crédito que tem o objetivo de proporcionar maior renda aos agricultores familiares os incentiva a aumentar o uso de insumos visando a obtenção de maiores rendimentos físicos.

Além disto, é interessante observar que, quanto maior for o aumento do preço do milho, mais vantajosa se mostra a produção intensiva realizada na unidade patronal. Isto pode ser demonstrado considerando as funções dos agricultores patronal e familiar que relacionam o preço com o valor agregado bruto por superfície, o seu coeficiente angular corresponde ao rendimento por hectare e o coeficiente linear ao consumo intermediário por hectare.

Tabela 1: Características técnicas e econômicas da produção de milho nas unidades de produção.

	Unidade Patronal	Unidade Familiar
Área (ha)	20,00	6,00
Preço (R\$/saca de 60 kg)		70,00
Preço dos herbicidas (R\$/l)		50,00
Preço dos inseticidas (R\$/l)		100,00
Preço do adubo NPK (R\$/kg)		3,60
Preço da ureia (R\$/kg)		3,00
Rendimento físico (sacos 60 kg/ha)	100,00	70,00
Produto bruto (R\$)	140.000,00	29.400,00
Consumo intermediário (R\$)	62.233,07	9.570,00
Consumo intermediário por superfície (R\$/ha)	3.111,65	1.595,00
Valor agregado bruto (R\$)	77.766,93	19.830,00
Valor agregado bruto/área (R\$/ha)	3.888,35	3.305,00
Dose de herbicidas (l/ha)	7,5	1,50
Dose de inseticidas (l/ha)	1,18	0,50
Dose de adubo NPK (kg/ha)	400,00	200,00
Dose de ureia (kg/ha)	300,00	200,00

Fonte: SILVA NETO (2021, p. 40)

As funções que relacionam o VAB/ha e o preço do milho são mostradas na figura 4.

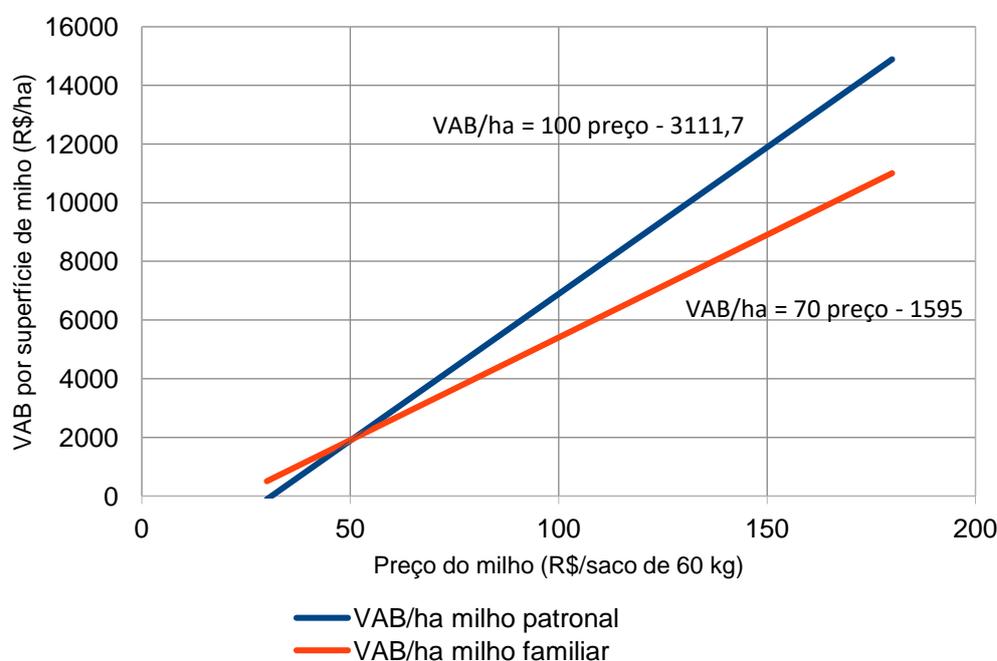


Figura 4: Curvas de aumento do valor agregado bruto em função do preço do milho em unidades de produção patronal e familiar

Fonte: dados da pesquisa

Por meio das funções mostradas na figura 4 foi determinado o preço no qual o valor agregado bruto dos dois sistemas de cultura se iguala, cujo valor é de R\$ 50,55/saco de 60 kg (abaixo dos R\$ 70,00/saco observado nas unidades de produção). Observa-se que, a partir desse preço, o valor agregado bruto por hectare da unidade patronal torna-se crescentemente mais elevado do que o da unidade familiar. É provável, pois, que neste caso o simples aumento dos preços exacerbaria o processo de acumulação diferencial na agricultura podendo, inclusive, estimular os agricultores familiares a utilizar mais insumos químicos.

Os coeficientes do modelo relativos ao uso de insumos pelos sistemas de cultura de milho são mostrados na tabela 2. A partir desses coeficientes foi elaborado um modelo de programação linear cujo problema primal minimiza o custo total de produção em valores monetários (expresso pelo valor agregado bruto que consta na tabela 2, e pelos preços dos insumos, mostrados na tabela 1), de acordo com as restrições técnicas e os recursos naturais que podem ser explorados por ciclo de produção (área de terra).

Tabela 2: Coeficientes do modelo para definição de sistema de preços para baixo uso de insumos químicos pela cultura do milho.

	Unidade de medida	Unidade Patronal	Unidade Familiar
Valor agregado bruto	R\$/tonelada de milho	648,0578	786,9048
Herbicidas	litros/tonelada de milho	1,250000	0,357143
Inseticidas	litros/tonelada de milho	0,197222	0,119048
Adubo	quilos/tonelada de milho	66,666667	47,619048
Ureia	quilos/tonelada de milho	50,000000	47,619048
Outros insumos	R\$/tonelada de milho	46,386667	35,714286
Área	hectares/tonelada de produto	0,166667	0,238095

Fonte: dados da pesquisa

O modelo parametrizado a partir dos resultados econômicos atuais das unidades de produção estudadas é mostrado abaixo. Lembramos que todos os coeficientes são expressos por tonelada de milho. O problema primal é,

$$\text{Minimizar } 648,0577777 mp + 786,9047619 mf + 50 h + 100 i + 3.6 a + 3 u + 46,3867 oip + 35,7143 oif \quad (21)$$

Sujeito às restrições

$$\text{Demanda de milho) } mp + mf \geq 25,2 \quad (22)$$

$$\text{Demanda de herbicidas) } - 1,25 mp - 0,3571 mf + h \geq 0 \quad (23)$$

$$\text{Demanda de inseticidas) } - 0,1972 mp - 0,119 mf + i \geq 0 \quad (24)$$

$$\text{Demanda de adubo) } - 66,6667 mp - 47,619 mf + a \geq 0 \quad (25)$$

$$\text{Demanda de ureia) } - 50 mp - 47,619 mf + u \geq 10 \quad (26)$$

$$\text{Demanda de outros insumos patronal) } - mp + oip \geq 0 \quad (27)$$

$$\text{Demanda de outros insumos familiar) } - mf + oif \geq 0 \quad (28)$$

$$\text{Superfície de terra disponível) } 0,16667 mp + 0,238095 mf \leq 6 \quad (29)$$

onde

$mp$  = milho patronal

$mf$  = milho familiar

$h$  = herbicidas

$i$  = inseticidas

$a$  = adubo (NPK)

$u$  = ureia

A partir do problema primal foi deduzido o problema dual que determina os preços e as rendas diferenciais. Esse modelo é descrito como,

$$\text{Maximizar } 25,2 pm - 6 rt \quad (30)$$

Sujeito às restrições

$$\begin{aligned} \text{milho\_patronal)} pm - 1,25 ph - 0,197222222 pi - 66,666666667 pa - 50 pu \\ - poip - 0,16667 rt \leq 648,0577777 \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \text{milho\_familiar)} pm - 0,3571 ph - 0,119 pi - 47,619 pa - 47,619 pu \\ - poif - 0,238095 rt \leq 786,90447619 \end{aligned} \quad (32)$$

$$\text{herbicidas)} ph \leq 50 \quad (33)$$

$$\text{inseticidas)} pi \leq 100 \quad (34)$$

$$\text{adubo)} pa \leq 3.6 \quad (35)$$

$$\text{ureia)} pu \leq 3 \quad (36)$$

$$\text{outros\_insumos\_patronal)} poip \leq 46,3867 \quad (37)$$

$$\text{outros\_insumos\_familiar)} poif \leq 35,7143 \quad (38)$$

onde, além das variáveis descritas anteriormente,

$pm$  = preço do milho

$ph$  = preço dos herbicidas

$pi$  = preço dos inseticidas

$pa$  = preço do adubo NPK

$pu$  = preço da ureia

Por meio do problema dual foi definido um sistema de preços para favorecer a reprodução social dos agricultores familiares, e para estimular a diminuição do uso de insumos pelos agricultores patronais. Os preços e os resultados dos sistemas patronal e familiar com eles obtidos são mostrados na tabela 3.

Tabela 3: Características técnicas e econômicas da produção de milho nas unidades de produção com o novo sistema de preços.

	Unidade Patronal	Unidade Familiar
Área (ha)	20,00	6,00
Preço (R\$/saca de 60 kg)		118,07
Preço dos herbicidas (R\$/l)		150,00
Preço dos inseticidas (R\$/l)		300,00
Preço do adubo NPK (R\$/kg)		10,80
Preço da ureia (R\$/kg)		9,00
Rendimento físico (sacos 60 kg/ha)	100,00	70,00
Produto bruto (R\$)	236.142,86	49.590,00
Consumo intermediário (R\$)	175.166,40	26.910,00
Consumo intermediário por superfície (R\$/ha)	8.758,32	4.485,00
Valor agregado bruto (R\$)	60.976,46	22.680,00
Valor agregado bruto/área (R\$/ha)	3.048,82	3.780,00
Dose de herbicidas (l/ha)	7,5	1,50
Dose de inseticidas (l/ha)	1,18	0,50
Dose de adubo NPK (kg/ha)	400,00	200,00
Dose de ureia (kg/ha)	300,00	200,00

Fonte: dados da pesquisa

Os preços mostrados na tabela 3 foram definidos a partir da consideração dos preços dos herbicidas, inseticidas, adubo NPK e da ureia como três vezes maior do que os preços mostrados na tabela 1. Esses novos preços foram colocados, respectivamente, no lado direito das expressões (33) a (36). Foi considerado também um aumento do valor agregado do milho familiar para R\$ 900,00/tonelada de milho, o qual foi colocado no lado direito da expressão (32). O motivo do aumento relativamente elevado do preço dos insumos é que este foi ajustado para que o milho da unidade familiar fosse selecionado como eficiente, isto é, para que os preços sejam definidos a partir das características do sistema de cultura desse tipo de agricultor.

Como pode ser calculado a partir dos resultados mostrados na tabela 3, com o novo sistema de preços a produção de milho na unidade familiar passaria a proporcionar um valor agregado bruto por hectare superior em R\$ 732,18 em relação ao obtido na unidade patronal. Esses resultados evidenciam que o aumento do preço do milho não estimularia o agricultor familiar a intensificar o uso de insumos químicos, pois estes também teriam preços mais elevados. Além disto, a unidade de produção patronal tenderia a diminuir o uso de insumos químicos com o novo sistema de preços.

## **6. A ação do Estado na planificação econômico-ecológica da agricultura**

A planificação econômico-ecológica da agricultura aqui proposta seria promovida por meio do Estado. Caberia às instituições estatais a realização dos estudos para a parametrização dos modelos e o estabelecimento de um sistema de comercialização que, por meio da tributação e de subsídios, assegurasse a efetividade dos sistemas de preços fornecidos pelo modelo. Evidentemente, a planificação econômico-ecológica da agricultura teria que ser feita no quadro de uma política econômica global, definida de forma democrática e cientificamente informada, para que o perfil e o nível da demanda de produtos finais e os investimentos fossem realizados respeitando as necessidades do conjunto da população, além, é claro, de contribuir efetivamente para a solução dos problemas ambientais relacionados ao Antropoceno.

No entanto, apesar do papel central do Estado na planificação econômico-ecológica da agricultura aqui proposta, isto não implica que a sua implantação seja centralizada. A planificação econômico-ecológica da agricultura poderia ser realizada em nível regional, com os agricultores organizados em cooperativas, por meio das quais poderia ocorrer a comercialização de produtos, insumos e equipamentos. Os preços desses produtos e meios de produção poderiam ser definidos em estudos regionais (SILVA NETO, 2021, p. 32).

Neste formato, a planificação econômico-ecológica da agricultura poderia inicialmente ser aplicada a públicos mais específicos, como os assentados de reforma agrária e agricultores familiares participantes de programas estatais como o PAA - Programa de Aquisição de Alimentos. Evidentemente, este deve ser apenas um primeiro passo, necessário até para que eventuais dificuldades de implantação possam ser identificadas e superadas. A restrição da planificação econômico-ecológica a grupos ou a categorias sociais específicos limitaria drasticamente o potencial da sua contribuição para o enfrentamento dos desafios colocados pelo Antropoceno. Para tanto seria necessário aplicá-la ao conjunto da agricultura o que exigiria que o padrão tecnológico adotado neste setor passasse a ser determinado, essencialmente, pelas necessidades do conjunto da população, superando a submissão da reprodução material da sociedade à acumulação de capital.

Uma característica importante da planificação econômico-ecológica é que os seus resultados seriam definidos a partir de análises objetivas da diversidade das técnicas de produção disponíveis. No entanto, as técnicas atualmente empregadas podem ser insuficientes para que a planificação econômico-ecológica da agricultura possa atingir os seus objetivos. Isto

ocorre porque as externalidades negativas provocadas pelas técnicas convencionais geralmente estão associadas a produções mais elevadas e, eventualmente, a custos menores nas unidades de produção (pelo menos no curto prazo), o que as torna mais viáveis microeconomicamente do que técnicas ecologicamente mais sustentáveis. Isto porque, técnicas mais sustentáveis internalizam os custos representados pelas externalidades, o que as torna menos viáveis do ponto de vista microeconômico. Isto faz com que tendam a não ser adotadas pelos agricultores (ou sejam adotadas apenas em condições muito específicas). Analisando a agricultura de alguns municípios do Rio Grande do Sul por meio de um procedimento para a promoção da transição agroecológica baseado em um modelo semelhante ao apresentado neste artigo, SILVA NETO (2021, p. 51-81, p. 82-100) constatou que, nos sistemas de produção atualmente praticados nesses municípios, foram observadas poucas técnicas que permitiriam uma diminuição significativa do uso de agrotóxicos na soja, no milho e na produção de leite, as principais atividades agropecuárias desses municípios. Esses resultados indicam a necessidade de uma forte ação estatal para o desenvolvimento de inovações tecnológicas mais sustentáveis (SILVA NETO, 2021, p. 99). No entanto, sustenta o autor, tal ação exige uma radical inflexão do caráter reducionista em geral observado na pesquisa agropecuária, na qual uma solução é desenvolvida para cada problema isoladamente (para os insetos predadores de plantas, inseticidas; para doenças fúngicas, fungicidas; para as chamadas plantas “daninhas”, herbicidas; e assim por diante). Ao contrário, uma pesquisa agropecuária orientada pela planificação econômico-ecológica da agricultura teria que explorar mais as interações entre os seres vivos para desenvolver métodos de controle da incidência de pragas e doenças, assim como para o manejo da fertilidade dos solos, o que só pode ser realizado por meio de estudos de caráter sistêmico e que considerem de forma aprofundada as condições locais. Vale destacar que, para a realização desses estudos, de caráter estratégico para a pesquisa agropecuária, os serviços de extensão rural seriam de extrema importância, o que implica a superação da relação em geral verticalizada observada entre a pesquisa e a extensão, na qual esta última, em geral, é considerada como uma mera intermediária entre a pesquisa e o agricultor. Outro papel de importância central da extensão rural seria a organização das cooperativas de agricultores mencionadas anteriormente.

## 7. Considerações finais

A partir dos resultados expostos neste artigo, destacamos algumas características da planificação econômico-ecológica nele proposta. Em primeiro lugar, salientamos que a parametrização do modelo não envolve estimativas sobre o futuro, sendo realizada diretamente a partir de dados observados, com os resultados obtidos sendo facilmente aplicáveis. O caráter concreto e diretamente operacional do modelo de planificação econômico-ecológica aqui proposto, portanto, contrasta com o alto grau de abstração dos modelos neoclássicos, baseados em funções de benefícios e custos contínuas e deriváveis que, como discutido anteriormente, envolvem estimativas sobre o comportamento futuro de certas variáveis muito difíceis de serem definidas, como as relativas ao desenvolvimento tecnológico e à taxa de desconto de produtos de consumo.

Em segundo lugar, salientamos que, além do novo sistema de preços estimular a adoção das técnicas disponíveis que geram menor impacto ambiental, os agricultores manteriam uma liberdade de escolha que estimularia processos de inovação por meio dos quais os agricultores poderiam aprofundar o caráter sustentável das suas técnicas. No caso do exemplo discutido no artigo, isto ocorreria por meio da exploração das possibilidades de diminuir ainda mais o emprego de insumos químicos. Vale observar que esse processo de inovação dos agricultores

poderia ser grandemente potencializado pela sua interação com a pesquisa agropecuária e a extensão rural.

Em terceiro lugar, é importante destacar que, ao contrário do modelo neoclássico, o modelo de planificação aqui proposto não possui uma função matemática que expressa o bem estar da sociedade (baseado no consumo). No modelo de planificação aqui proposto, caberia a sociedade decidir politicamente, de forma explícita, com base nas possibilidades técnicas existentes, o que e quanto consumir, o quanto e onde investir, e o grau de exploração dos recursos naturais, que melhor possam assegurar o seu bem estar. As funções objetivo dos problemas primal e dual do modelo de planificação aqui proposto possuem, portanto, um caráter meramente operacional, servindo apenas para definir um sistema de preços que coordene eficientemente as decisões a serem tomadas nas unidades de produção com a decisões políticas da sociedade. Neste sentido, a planificação econômico-ecológica aqui proposta implica que a sociedade, em seu conjunto, deve assumir explicitamente que são as decisões políticas tomadas sobre as suas riquezas que desencadeiam os processos econômicos, e não o inverso, como, insistentemente, nos quer fazer crer a ideologia dominante nas sociedades capitalistas, para a qual as concepções neoclássicas representam um importante suporte (SILVA NETO, 2023). As relações sociais capitalistas, assim, provavelmente se constituiriam no principal obstáculo à implantação de uma planificação econômico-ecológica da agricultura capaz de contribuir efetivamente para que possamos, todos, bem viver no Antropoceno.

### Referências bibliográficas

CASTREE, N. Anthropocene and planetary boundaries. In: RICHARDSON, D., CASTREE, N.; GOODCHILD, M. F.; KOBAYASHI, A.; LIU, W.; MARSTON, R. A. (ed.). **The International Encyclopedia of Geography**. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons Ltd., 2017.

COASE, R. H. The Problem of Social Cost. **Journal of Law and Economics** vol. 3, p. 1-44, 1960.

DUFUMIER, M. **Projetos de desenvolvimento agrícola**. 2ª ed. Manual para especialistas. Salvador, EDUFBA, 2010.

FREDERICK, S.; LOEWENSTEIN, G.; O'DONOHUE, T. Time Discounting and Time Preference: A Critical Review. **Journal of Economic Literature**. Vol. XL, p. 351-401, 2002.

HAHN, R. W.; STAVINS, R. N. The Effect of Allowance Allocations on Cap-and-Trade System Performance. **Journal of Law and Economics**, vol. 54, nº 4, p. 267-294, 2011.

HARRIBEY, J.-M., **La richesse, la valeur et l'inestimable. Fondements d'une critique socio-écologique de l'économie capitaliste**. Paris: Les Liens qui Libèrent, 2013.

LUKÁCS, G. **Histoire et conscience de classe**. Paris: Éditions de Minuit, 1960, 285 pp. (edição eletrônica).

LUKÁCS, G. **Prolégomènes à l'ontologie de l'être social**. Paris: Éd. Delga, 2009.

LUKÁCS, G. **Ontologie de l'être social. Le travail, la reproduction**. Paris: Éd. Delga, 2011.

- LUKÁCS, G. **Ontologie de l'être social. L'idéologie, l'aliénation.** Paris: Éd. Delga, 2012.
- MARSHALL, A. **Principles of Economics.** London: Macmillan and Co., 1920.
- MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea.** São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010.
- MEDEMA, S G.; R O ZERBE, JR. The Coase Theorem. In BOUDEWIJN BOUCKAERT; GERRIT DE GEEST, (eds.), **The Encyclopedia of Law and Economics**, Aldershot: Edward Elgar Publishing, 2000, p. 836-92.
- MOORE, J. (org.) **Anthropocene or Capitalocene?** Oakland: PM Press, 2016.
- NORDHAUS, W. D.; BOYER, J. **Warming the world: economic models of global warming.** Cambridge (Massachussets): The MIT Press, 2000.
- PIGOU, A. C. **The Economics of Welfare.** 4th ed. London: Macmillan, 1932.
- RICHARDSON, K. et. al. Earth beyond six of nine planetary boundaries. **ScienceAdvances**, vol. 9, n° 37, 2023.
- SATO, K. **Marx in the Anthropocene: towards the idea of degrowth communism.** Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- SILVA NETO, B. **Com Marx, para além de Marx: ensaios sobre riquezas, valores e preços.** Rio de Janeiro: Editora Telha, 2020.
- SILVA NETO, B. **A internalização dos custos da transição agroecológica em sistemas agrários.** Porto Alegre: Editora Fi, 2021.
- SILVA NETO, B. As relações entre política, economia e sustentabilidade: um modelo de análise baseado no materialismo histórico. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Vol. 62, p. 1462-1484, jul./dez. 2023.
- STIGLER, G. J. **The Theory of Price**, 3rd ed., New York: Macmillan, 1966.
- STUBBLEFIELD, C. Managing the Planet: The Anthropocene, Good Stewardship, and the Empty Promise of a Solution to Ecological Crisis. **Societies**, vol. 8, n° 38, 2018.
- WEITZMAN, M. Prices vs. Quantities. **Review of Economics Studies**, vol. 41, n° 4, p. 477–49, 1974.
- WEITZMAN, M. 2009a. On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change. **Review of Economics and Statistics**, vol. 91, p. 1–19, 2009a.
- YALCINTAS, The 'Coase Theorem' vs. Coase Theorem Proper: How an Error Emerged and Why it Remained Uncorrected so Long. **SSRN Electronic Papers**, June 21, 2010. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=1628163>, acesso: 27/02/2025.