


Custo da Reserva Legal para os produtores agropecuários fluminenses entre 2006 e 2017

Samuel Alex Coelho Campos¹ <https://orcid.org/0000-0001-7171-7349>

Recebido em: 07/10/2023

Aprovado em: 25/03/2024

Resumo:

Um dos fatores essenciais à produção agropecuária é a terra. Contudo, o código florestal limita a área que o produtor pode realizar o corte raso objetivando à preservação ambiental. Essa restrição implica em um custo de oportunidade geralmente arcado integralmente pelos produtores rurais. Esse trabalho tem como objetivo geral calcular esse custo para os produtores representativos médios do Rio de Janeiro, utilizando a metodologia proposta por Zhou, Ang e Poh (2006). Os resultados indicaram que o custo de oportunidade varia proporcionalmente em relação à receita agropecuária dos produtores representativos médios, com perceptual que oscilou entre 3% a 95%. Destaca-se também que esse custo médio se elevou entre os períodos analisados, o que pode ser atribuído, dentre outros fatores, à redução da área média dos estabelecimentos agropecuários. Como forma de reduzir esse custo podem ser implementados pagamentos para preservação das matas aos produtores, como o Programa de Apoio e Incentivo à Preservação e Recuperação do Meio Ambiente previstos no Código Florestal.

Palavras-chave: agropecuária, custo, conservação, Rio de Janeiro.

Códigos JEL: D21, Q01, Q56

Cost of the Legal Reserve for agricultural producers in Rio de Janeiro between 2006 and 2017

Abstract

One of the essential factors for agricultural production is land. However, the forest code limits the area in which the producer can carry out clear cutting in order to preserve the environment. This restriction implies an opportunity cost generally borne entirely by rural producers. This work has the general objective of calculating this cost for representative average producers in Rio de Janeiro, using the methodology proposed by Zhou, Ang and Poh (2006). The results indicated that the opportunity cost varies proportionally in relation to the agricultural income of the average representative producers, with a perceptual cost that ranged between 3% and 95%. It is also noteworthy that this average cost increased between the periods analyzed, which can be attributed, among other factors, to the reduction in the average area of agricultural establishments. As a way to reduce this cost, payments can be implemented to preserve forests to producers, such as the Support and Incentive Program for the Preservation and Recovery of the Environment provided for in the Forest Code.

¹ Doutor em Economia Aplicada pela Universidade de São Paulo. Professor Adjunto do Departamento de Ciências Econômicas de Campos – Universidade Federal Fluminense. E-mail: samuelcampos@id.uff.br

Key words: agriculture, cost, conservation, Rio de Janeiro.

JEL Codes: D21, Q01, Q56

Introdução

A produção agropecuária no estado do Rio de Janeiro foi praticada por 65,2 mil estabelecimentos em 2,4 milhões de hectares, ocupando 161 mil pessoas em 2017 (IBGE, 2019). Contudo, o produtor agropecuário não pode dispor de toda a área do seu estabelecimento agropecuário livremente em função do Código Florestal: um percentual da área deve ser preservado, não sendo permitido a exploração econômica, sendo essa parcela definida como Área de Preservação Permanente; outra parcela permite o uso econômico sustentável, a Reserva Legal. Por fim, na parcela restante, o produtor pode dispor para a atividade econômica e efetuar o corte raso (Bacha, 2018).

No período de 2006 e 2017 a área ocupada com matas ou florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal no estado do Rio de Janeiro aumentou de 178.723 para 429.848 hectares (IBGE, 2021, 2022). Contudo, esse aumento da Área de matas destinadas à Preservação Permanente (APP) ou Reserva Legal (RL) não atendeu ao percentual mínimo exigido de 20% da área total dos estabelecimentos com RL: alcançando em média, no estado, 18% da área. Além disso, esse aumento da área total de APP e RL não foi homogêneo entre os municípios do estado, sendo que alguns alcançaram valores superiores ao mínimo exigido da RL, como Maricá com 29%² da área dos estabelecimentos agropecuários ocupada com APP e RL, enquanto outros municípios apresentaram valores inferiores, como Italva com 7% da área com RL e APP, segundo IBGE (2021, 2022). Destaca-se que dois dos dez municípios com maiores taxas de desmatamento em um período de 30 anos (1985 a 2015) no Brasil estão localizados na região da Mata Atlântica, mais especificamente no estado do Rio de Janeiro (Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021)

O Código Florestal pode ser classificado como um instrumento do tipo comando e controle (Perman *et al.*, 2003). Regulamentações deste tipo não são custo-eficiente uma vez que não diferenciam os poluidores que podem reduzir ao menor custo dos que teriam um custo maior. Em face da restrição do código florestal, o produtor rural terá um custo de oportunidade dado pela receita renunciada com a não exploração das áreas de RL e APP ou pelo custo de adequação do sistema produtivo à uma área menor (Campos, 2015; Van Der Hoff; Rajão, 2020).

A tentativa de minimizar esse custo pode resultar em desperdícios de recursos, ou seja, criar uma ineficiência da produção, comprometendo a lucratividade da atividade agropecuária. Ademais, a análise da eficiência e a redução da ineficiência ambiental e do desperdício de recursos na produção agropecuária é importante, uma vez que a eficiência ambiental pode ser considerada um pilar do desenvolvimento sustentável e possui forte relação com as mudanças climáticas (Matsumoto; Makridou; Doumpos, 2020). A redução do desmatamento é parte da Plano Nacional sobre Mudança do Clima (Boucher, Roquemore; Fitzhugh, 2013).

Assim, esse trabalho objetivou analisar custo de oportunidade decorrente do código florestal dos produtores rurais fluminenses entre 2007 a 2017 de manterem a

² A afirmação supõe que a área de APP no município obrigatória seria nula, uma vez que os dados do Censo Agropecuário não permitem discriminar as áreas de APP e RL. Ademais, o Código Floresta permite que as Áreas de Preservação Permanente sejam utilizadas no computo do percentual da Reserva Legal (Brasil, 2012).

RL e APP. Especificamente, objetivou-se calcular a eficiência técnica, eficiência técnica ambiental e o custo de oportunidade e sua relação com o desmatamento nos municípios analisados.

Como forma de calcular esse custo de oportunidade foi utilizada a metodologia proposta por Zhou, Ang e Poh (2006). Por ela, o custo de oportunidade é calculado por meio da eficiência técnica, da eficiência técnica ambiental e da receita agropecuária. Essa metodologia permite diferenciar o custo do produtor que produz de forma mais eficiente do menos eficiente.

Além dessa seção, esse artigo está organizado em seis seções. A próxima seção apresenta a revisão de literatura. A terceira seção trata do referencial teórico. A quarta seção apresenta a metodologia utilizada, as fontes e os tratamentos dos dados. A quinta seção dedica-se aos resultados e discussão e por fim as considerações finais são apresentadas na seção seis.

Revisão De Literatura

A literatura que trata da análise do custo de oportunidade e eficiência ambiental tem utilizado modelos de Análise Envoltória de Dados (DEA), como a metodologia proposta por Zhou, Ang e Poh (2006), ou modelos de Fronteira Estocástica para analisar a relação entre eficiência e a geração de produtos indesejáveis no processo produtivo, como CO₂, desmatamento etc. e estimar o custo de abatimento desse impacto ambiental. Na literatura do tema, a análise da eficiência ambiental e do custo da preservação das matas tem sido focados no bioma Amazônico como Pellenz, Almeida e Lirio (2021), Peña *et al.* (2018), Rosano-Peña, Teixeira e Kimura (2021) e Azevedo Junior, Rodrigues e Silva (2022).

O modelo de análise de eficiência baseado nas folgas e o cálculo do custo da adequação ambiental foram utilizados por Cecchini *et al.* (2018) para o cálculo do custo de abatimento das emissões de CO₂ na Itália para a produção láctea. Seus resultados indicaram que seria possível uma redução de 45,7% a 26,3% nas emissões de CO₂ equivalente a um custo de abatimento de € 243,08 em função da redução da produção de leite.

Peña *et al.* (2018) analisaram a eficiência ambiental e o custo de oportunidade das externalidades na produção agropecuária para os municípios do Bioma Amazônico. Os autores identificaram que os produtores estão operando com retornos decrescentes de escala e a redução na escala de operação poderia reduzir a ineficiência da produção, sendo a eficiência média calculada de 0,84. Eles concluíram que podem ser utilizados mecanismos de incentivo à proteção ambiental na forma de compensação proporcional à área preservada, cujos valores possam tomar como referência os custos de oportunidade estimados: entre US\$ 82,39 e US\$ 170,37 por hectare/ano, dependendo do tipo de produção além da implementação de políticas públicas de incentivo à adoção de tecnologias que economizem terras. As taxas marginais de substituição indicam que é possível substituir um hectare de terra por quatro unidades adicionais de trabalho ou investimentos de capital de US\$ 1.905,75 por propriedade.

Alencar *et al.* (2019) analisaram a ecoeficiência da suinocultura brasileira utilizando a DEA e Funções Distância Direcionais considerando como variável ambiental as emissões de CO₂. Segundo os autores, seria inviável a internalização do custo das emissões, considerando que o custo total da redução das emissões seria o equivalente a 468% do valor da produção em 2006. Contudo, seria possível aumentar

o valor total de abates em 99 milhões de Reais e ainda reduzir as emissões em 143 mil toneladas de CO2 mantendo o uso dos insumos constantes.

Analisando a ecoeficiência da produção agropecuária do bioma Amazônico para o ano de 2006 e custo de oportunidade da adequação, Rosano-Peña, Teixeira e Kimura (2021) utilizaram a DEA. Os resultados indicaram que, em média, os municípios conseguiriam expandir a produção e as áreas florestais em 38% e reduzir as áreas degradadas e seus insumos na mesma proporção, sendo o custo total para preservar 80% da área da propriedade seria de US\$ 120.890.662 ou 1,7% da renda anual dos produtores. Segundo os autores, seria, viável, economicamente, a exploração agropecuária como a preservação das florestas na região.

Pellenz, Almeida e Lirio (2021) analisaram a eficiência técnica na Amazônia Legal e sua relação com o desmatamento para o ano de 2017 por meio da DEA e Econometria Espacial. Os resultados indicaram que apenas 3% dos municípios analisados foram eficientes e que ganhos de eficiência até o escore de 0,39 levariam ao aumento do desmatamento. Níveis de eficiência acima a esse estariam associados à redução do desmatamento.

Analisando a relação entre a eficiência e o desmatamento na região Amazônia Legal entre 2006 e 2017, Azevedo Júnior, Rodrigues e Silva (2022) utilizaram a abordagem da Fronteira Estocástica (SFA). Segundo os autores, os municípios da região não são especializados, sendo que a eficiência técnica dos municípios aumentou de 69,5% em 2006 para 74,1% em 2017. A ineficiência foi atribuída à alocação ineficiente de fatores tecnológicos e produtivos, que poderiam aumentar a produção sem desmatamento, resultando na concentração do desmatamento em propriedades ineficientes, o que limitaria a eficácia das políticas de controle do desmatamento, sendo que a difusão tecnológica focada nos pequenos produtores poderia ser uma alternativa de redução do desmatamento e de ganhos na produção.

Referencial Teórico

Como arcabouço teórico, esse trabalho utilizou o modelo proposto por Angelsen (2010) que considera como agentes os indivíduos, famílias e companhias; e as causas imediatas do desmatamento, como os preços, mercados, tecnologias e condições agroecológicas. O modelo considera que a terra será alocada para aquela atividade de maior renda, determinada pela localização e distância dos mercados.

Considerando que a terra seja utilizada apenas como duas atividades: agropecuária ou conservação da floresta, temos que:

$$r^a = p^a y^a - w l^a - q k^a - v^a d \quad (1)$$

e

$$r^f = (p^t y^t - w l^t - q k^t - v^t d) + p^l y^l + p^g y^g \quad (2)$$

em que r^a é a renda da agropecuária, p^a , o preço da venda dos produtos agropecuários, y^a é o produto agropecuário, l^a e k^a são, respectivamente, a quantidade necessária de mão de obra e capital, r^f é a renda da floresta; p^t , p^l e p^g são, respectivamente, os preços da madeira, o valor local das amenidades florestais e o valor global das amenidades florestais; y^t , y^l e y^g são, respectivamente, o produto da extração florestal, dos serviços locais e globais da floresta; w é o preço do trabalho e q é o preço do capital; l^t é a quantidade necessárias de mão de obra no corte da

madeira; k_a e k_t são as quantidades de capital necessárias para a agropecuária e para o corte da madeira, respectivamente; v_a e v_t são os custos do transporte para os produtos agropecuários e florestais, respectivamente; d é a distância da propriedade ao mercado.

Por meio das equações (1) e (2) observa-se que a distância do centro consumidor e o custo do capital e da mão de obra reduzem a receita, tanto da atividade agropecuária como florestal. Se o produtor não atribuir nenhuma renda, de forma que p_t , p_l e p_g serão iguais a zero, a mata será substituída pela produção agrícola até que $r_a = 0 = r_f$. Contudo, o desmatamento será menor quanto maior o benefício que o produtor atribuir à floresta. Assim, a política pública pode reduzir o desmatamento utilizando de incentivos econômicos, de forma que o produtor atribua um valor privado à manutenção da área com matas em sua propriedade.

Segundo Angelsen (2007), o processo de transição da área coberta por florestas compreende quatro estágios: (1) inicialmente alta cobertura florestal e baixo desmatamento, (2) aceleração e alto desmatamento, (3) desaceleração do desmatamento e estabilização da cobertura florestal, e (4) um período de reflorestamento. Contudo, conforme o autor, a escassez florestal induz preços mais elevados dos produtos florestais, o que incentiva tanto uma melhor gestão florestal como o estabelecimento de áreas florestais e plantações. A perda das funções ecológicas das florestas, pressão nacional e internacional de grupos ambientalistas, ou iniciadas a nível local com base em efeitos visíveis no ambiente local ou na dependência local significativa das florestas pode resultar em mudanças políticas para promover a conservação das florestas (Angelsen, 2007).

Conforme Tateishi, Bragagnolo e Almeida (2021), os produtores agropecuários são tomadores de preços, de forma que o aumento da demanda por produtos agropecuários e aumento dos preços dos produtos levaria ao aumento das taxas de desmatamento. Assim, o custo de oportunidade das áreas ocupadas com florestas está diretamente relacionado à perda do ganho econômico potencial que seria advindo da conversão das áreas para produção agropecuária. Assim, a redução do desmatamento implica em um custo de oportunidade para esses agentes (Boucher; Roquemore; Fitzhugh, 2013; Laurance; Sayer; Cassman, 2014). Contudo, se a agricultura for mais eficiente, a quantidade demanda de terra necessária para fornecer alimentos para a crescente população pode ser menor, o que reduziria o desmatamento (Laurance; Sayer; Cassman, 2014).

Entretanto, é possível que a área desmatada seja excessiva, uma vez que os benefícios e serviços ambientais proporcionados pelas florestas têm características de bens públicos. Para contornar esse problema podem ser utilizados alguns instrumentos de comando e controle (Perman *et al.*, 2003), como o Código Florestal. Instrumentos do tipo comando e controle são instrumentos regulatórios que determinam e exigem parâmetros técnicos mínimos ou máximos para as atividades produtivas, sendo que seu não cumprimento acarreta, normalmente, em sanções aos infratores. Nesse sentido, o Código Florestal é um instrumento que determina, por exemplo, o padrão técnico mínimo referente à área ocupada com floresta destinada à reserva legal.

Segundo Brasil (2012, p. 1), as áreas reservadas na propriedade agropecuária pelo Código Florestal, em seu artigo 3º, são classificadas e definidas como:

II - Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o

fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

III - Reserva Legal: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa;

O Código Florestal, ao fixar áreas a serem conversadas por todos os produtores, desconsiderando as características do sistema produtor e o custo de manutenção das matas, que pode ser diferente entre eles, pode acarretar um custo global de conservação maior do que o mínimo possível. Segundo Chomitz (2004) e Färe, Grosskopf e Tyteca (1996), essa é uma das principais críticas aos instrumentos de comando e controle, que não consideram a heterogeneidade dos agentes quanto à tecnologia de produção, acesso ao mercado e dos custos incorridos por cada uma para cumprir a legislação. Uma característica importante refere-se à ineficiência da produção, que pode implicar que o produto por unidade de insumo e/ou área desmatada seja significativamente diferente entre produtores (Lee; Park; Kim, 2002). Isso resultaria em um custo de oportunidade diferente entre os produtos, sendo que a política pública deveria, então, considerar essas diferenças de forma a obter o melhor resultado com o menor custo.

Medida de Desempenho Baseada nas Folgas e Cálculo do Custo de Oportunidade

O cálculo da eficiência baseado nas folgas proposto por Tone (2001) é classificado como Análise Envoltória de Dados (DEA), que utiliza da programação linear para estimar uma fronteira de produção, considerando as folgas no uso dos insumos, para obter um escore de eficiência. Por ser um método não paramétrico, ele possui como vantagem o não uso de uma função de produção explícita (Cecchini *et al.*, 2018).

Assim, suponha uma dada DMU_o, com produção y_o e vetor de insumos x_o (Tone, 2001):

$$x_o = X\lambda + s^- \quad (3)$$

$$y_o^g = Y^g\lambda - s^+ \quad (4)$$

$$s^+ \geq 0, s^- \geq 0$$

em que $s^- \in \mathbb{R}^n$ denota o vetor de folga, ou excesso, no uso dos insumos; $s^+ \in \mathbb{R}^m$ a folga para o produto, ou déficit, X e Y^g são as matrizes de insumo e produtos desejáveis de ordem $n \times k$ e $m \times k$, respectivamente, em que “n” indica o número de insumos, “m” o número de produtos e “k” o número de DMUs incluídos no modelo e “ λ ” é um vetor de intensidade.

O escore de eficiência técnica (τ_1) para uma dada DMU_o pode ser calculado por meio do modelo de otimização linear (Tone, 2001):

$$\min \tau_1 = t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{io} \quad (5)$$

s.a.

$$1 = t + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s s_r^+ / y_{ro}$$

$$tx_o = X\Delta + S^-$$

$$ty_o^g = Y^g\Delta - S^+$$

$$\Delta \geq 0, S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \text{ et } t > 0$$

assumindo $X > 0$ e $\lambda \geq 0$ e sendo $\Delta = t\lambda$, $S^- = ts^-$ e $S^+ = ts^+$, “t” um escalar positivo e $0 < \tau_1 \leq 1$. Um escore $\tau_1 < 1$ indica que o estabelecimento ou DMU³ é ineficiente, ou seja, ele poderia eliminar o desperdício na alocação dos insumos, aumentando, ou mantendo, a quantidade produzida, eliminando as folgas no uso dos insumos e/ou o déficit na geração de produtos. Por outro lado, se $\tau_1 = 1$, esse produtor ou DMU é eficiente tecnicamente, de forma que não há folgas no uso dos insumos e déficit na quantidade produzida. Assim, se o uso dos insumos for reduzido, a produção também será. Segundo Picazo-Tadeo, Reig-Martínez e Hernández-Sancho (2005), esse modelo desconsidera a restrição ambiental, não atribuindo qualquer custo à degradação ambiental, ou nesse trabalho, ao desmatamento.

Como forma de incorporar os produtos indesejáveis, o desmatamento para esse trabalho, no cálculo da eficiência técnica, Zhou, Ang e Poh (2006) modificaram o modelo (5) originalmente proposto por Tone (2001), incorporando uma restrição para os produtos indesejáveis ($y_o^b = Y^b\lambda$):

$$\min \tau_2 = t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{io}$$

s.a. (6)

$$1 = t + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s s_r^+ / y_{ro}$$

$$tx_o = X\Delta + S^-$$

$$ty_o^g = Y^g\Delta - S^+$$

$$ty_o^b = Y^b\Delta$$

$$\Delta \geq 0, S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \text{ et } t > 0$$

em que $\Delta, S^-, S^+, t, Y \in X$ são tais como descritos anteriormente. O termo Y^b é a matriz de produtos indesejáveis, o desmatamento das áreas de reserva legal dentro dos estabelecimentos agropecuários, de ordem $j \times k$, em que j é o número de produtos indesejáveis considerados e k o número de municípios, as DMUs. A eficiência técnica ambiental é dada por τ_2 , $0 < \tau_2 \leq 1$, e calculada para cada produtor representativo municipal. A restrição $ty_o^b = Y^b\Delta$ considera a variação no uso de insumos e do produto implementado pelos produtores agropecuários objetivando reduzir a produção dos produtos indesejáveis. Para um produtor representativo eficiente ambientalmente, considerado como DMU neste trabalho, tem-se que $\tau_2 = 1$. Todos aqueles produtores representativos com escore inferior à unidade são considerados ineficientes,

³ DMU (*decision making unit*) na literatura de produtividade é uma unidade tomadora de decisão, que pode tomar sua decisão de forma autônoma e independente, podendo ser uma empresa, um produtor rural, um município etc.

indicando que podem adequar sua produção de tal forma a reduzirem o uso de insumos e produto indesejável, o desmatamento, e aumentar o produto desejável.

Os escores de eficiência técnica e técnica ambiental obtidos pelas Equações (5) e (6) assumem retornos constantes à escala, que podem não ser adequados uma vez que consideram que não há ineficiência de escala. Se existir ineficiência de escala, essa será acrescentada ao escore de eficiência técnica, não retratando a eficiência técnica adequadamente (Ferreira; Gomes, 2009). Nesse sentido, pode-se calcular os escores de eficiência τ_1 e τ_2 sobre a pressuposição de retornos variáveis, adicionando a restrição $\sum_{k=1}^K \lambda_k = 1$ às Equações (5) e (6), respectivamente (Zhou; Ang; Poh, 2008).

Dada a possibilidade de serem obtidas as estimativas sobre a pressuposição de retornos constantes ou variáveis, pode-se utilizar o teste não paramétrico de duas amostras, sugerido por Banker (1996), de Kolmogorov-Smirnov (Kolmogorov, 1933; Smirnov, 1933). O teste indicará qual a pressuposição mais adequada àquelas DMUs. Ele utiliza as distribuições empíricas de $\hat{F}^c(\hat{\tau}_i)$ e $\hat{F}^v(\hat{\tau}_i)$, $i = 1, 2$ sendo que os sobrescritos “c” e “v” denotam respectivamente retornos constantes e variáveis. O teste de Kolmogorov-Smirnov é dado pela distância máxima vertical entre as distribuições:

$$D = \max \{ \hat{F}^c(\hat{\theta}_c), \hat{F}^v(\hat{\theta}_v) \} \quad (7)$$

em que sobre a hipótese nula não há (in)eficiência de escala, devendo ser utilizado, portanto, o modelo sobre a pressuposição de retornos constantes; se a hipótese nula for rejeitada, há indicação da existência da ineficiência de escala, devendo, serem utilizados os modelos com pressuposição de retornos variáveis no cálculo da eficiência técnica e técnica ambiental (Banker; Natarajan, 2004).

Por fim, utilizando os escores τ_1 e τ_2 , o Índice de Eficiência Baseada nas Folgas (*Slacks Based Efficiency Index – SBEI*), que permite mensurar o impacto econômico da regulação ambiental, pode ser calculado como (Zhou; Ang; Poh, 2006):

$$SBEI = \tau_1 / \tau_2 \quad (8)$$

Se o Código Florestal e a limitação de uso no solo em função da conservação da área coberta com matas não restringir o processo produtivo daquele produtor, tem-se que $SBEI = 1$. Contudo, se essa limitação comprometer o processo produtivo e a geração de produto desejável por insumos utilizados, tem-se um custo ao produtor e $SBEI < 1$, indicando que parte do esforço produtivo é utilizado para reduzir o desmatamento da Reserva Legal (Picazo-Tadeo; Reig-Martínez; Hernández-Sancho, 2005). Esse custo da regulamentação ambiental pode ser calculado, conforme Zhou, Ang e Poh (2006) por:

$$\text{Custo} = (1 - SBEI) * \text{receita agropecuária} \quad (9)$$

Se o produtor tiver um custo associado à RL, esse não poderá reduzir o desmatamento da RL sem reduzir o produto desejável, ou seja, sem reduzir a receita agropecuária. Esse custo pode ser advindo da ineficiência produtiva associada ao cumprimento da legislação ambiental, sendo que um produtor representativo poderá utilizar mais insumos do que o tecnicamente adequado como estratégia de redução do desmatamento (Boyd; McClelland, 1999).

Variáveis utilizadas para calcular o custo de oportunidade da Reserva Legal

A eficiência técnica (τ_1) e a eficiência ambiental (τ_2) foram calculadas por meio do software GAMS (General Algebraic Modeling System) versão 25.0 com os dados de 2006 e 2017 empilhados, sendo estimada uma única fronteira de produção para ambos os períodos. Como fonte de dados foram utilizados o Censo Agropecuário de 2006 e 2017. Destaca-se que a data de referência do Censo Agropecuário 2017 foi 30 de setembro de 2017 e o período de referência, de 1º de outubro de 2016 a 30 de setembro de 2017, enquanto no Censo Agropecuário 2006, o período de referência foi de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2006 e a data de referência, 31 de dezembro de 2006 (IBGE, 2019).

As variáveis utilizadas, similares àquelas utilizadas na literatura (Campos; Bacha, 2016; Penã *et al.*, 2018; Tateishi; Bragagnolo; Almeida, 2021) foram:

Receita agropecuária (produto desejável - y^g): somatória das receitas dos estabelecimentos agropecuários com a venda de produtos vegetais; animais e seus produtos; e outras receitas agropecuárias em mil Reais de 2017/número de estabelecimentos agropecuários do município. Foi utilizado o Índice de Preços ao Produtor de Grupos de Produtos Agropecuários Geral disponibilizado pelo CEPEA/ESALQ (USP, 2021) para obter os valores monetários da receita a preços de 2017.

Desmatamento (produto indesejável - y^b): área utilizada para a atividade agropecuária acima do percentual 80% da área total do estabelecimento agropecuário/número de estabelecimentos agropecuários do município. Essa variável considera no cálculo da área ocupada com RL a APP, sendo, portanto, um cálculo parcimonioso do déficit da Reserva Legal para o produtor representativo médio.

Por fim, as variáveis de insumo foram:

- (i) área produtiva: área total das lavouras permanentes, temporárias, para cultivo de flores, pastagens naturais e plantadas, florestas plantadas e sistemas agroflorestais, em hectares/número de estabelecimentos agropecuários do município;
- (ii) mão de obra: total do pessoal ocupado de 14 anos ou mais em estabelecimentos agropecuários em 31/12/2006 para o Censo Agropecuário de 2006 e em 30/09/2017 para o Censo Agropecuário de 2017/número de estabelecimentos agropecuários do município;
- (iii) bovinos: efetivo de bovinos nos estabelecimentos agropecuários, em cabeças/número de estabelecimentos agropecuários do município. Essa variável é utilizada como *proxy* para mensurar o estoque de capital na produção animal;
- (iv) insumos comprados: compreendendo as despesas com adubos, corretivos do solo, sementes e mudas, agrotóxicos, medicamentos para animais, sal e rações industrializadas ou não-industrializadas, energia elétrica e combustíveis e lubrificantes, em mil Reais de 2017/número de estabelecimentos agropecuários do município. Foi utilizado o Índice de preços ao produtor amplo, disponibilidade interna (IPA-DI), produtos industriais disponibilizado pelo IPEA (2021) para inflacionar a despesa com insumos para o ano de 2017; e
- (v) tratores: número de tratores até 100 cv existentes nos estabelecimentos agropecuários/número de estabelecimentos agropecuários do município.

Todas as variáveis consideradas foram divididas pelo número de estabelecimentos agropecuários do respectivo município de forma a obter o “produtor representativo médio” (Campos; Bacha, 2016; Tateishi; Bragagnolo; Almeida, 2021).

Foi utilizado o Índice de preços ao produtor amplo, disponibilidade interna (IPA-DI), produtos industriais disponibilizado pelo IPEA (2021) para correção dos valores monetários para a variável “insumos comprados” e o Índice de Preços ao Produtor de Grupos de Produtos Agropecuários Geral disponibilizado pelo CEPEA/ESALQ (USP, 2021) para a receita agropecuária, pelo fato dos mesmos terem maior relação à variação das respectivas variáveis conforme Coelli *et al.* (2005) e permitir que os termos de troca possam sofrer variação ao longo do tempo.

Por fim, foi utilizado o procedimento denominado de *translation invariant* que consistiu em adicionar o menor valor negativo da variável “desmatamento” a todas as observações da respectiva variável, uma vez que o modelo supõe que todas as variáveis sejam positivas e diferentes de zero (Sharp; Meng; Liu, 2007).

Resultados

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas para as variáveis do modelo por ano (2006 e 2017). Observa-se que houve uma redução média no valor da receita agropecuária, desmatamento, área produtiva e uso de mão de obra enquanto o custo médio dos insumos comprados e o número de tratores elevou no período analisado. Destaca-se que os valores monetários estão retratados em valores correntes de 2017.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas, produtores representativos, Rio de Janeiro, 2006 e 2017

Variáveis	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
2006					
Receita (mil R\$)	81	50,51	65,75	7,16	557,01
Desmatamento (ha)	81	61,31	94,78	2,00E-05	713,16
Área produtiva (ha)	81	37,94	23,66	4,68	96,96
Mão de obra (un.)	81	2,74	0,77	1,53	6,03
Bovinos (cab.)	81	44,39	29,08	1,71	140,62
Insumos comprados (mil R\$)	81	12,30	10,07	1,75	57,09
Tratores	81	0,11	0,08	0,01	0,39
2017					
Receita (mil R\$)	75	45,80	50,62	11,13	420,63
Desmatamento (ha)	75	41,56	79,72	3,11	639,84
Área produtiva (ha)	75	34,76	23,51	0,96	137,72
Mão de obra (un.)	75	2,62	0,55	1,71	5,31
Bovinos (cab.)	75	77,83	285,62	0,11	2.472,15
Insumos comprados (mil R\$)	75	18,25	22,43	1,52	136,24
Tratores	75	0,14	0,09	0,00	0,39

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: o número de produtores representativos médios apresentou variação entre os anos em função da disponibilidade de dados. Aqueles municípios em que o dado não estava disponível (preenchido com “X”) foram retirados da amostra daquele ano.

Observa-se nas estatísticas a redução do desvio padrão entre os anos estudados para as variáveis consideradas, à exceção de bovinos, insumos comprados e tratores. Isso indica que o aumento médio do custo dos insumos comprados e número de tratores entre os anos foi acompanhado de uma maior heterogeneidade desses entre os produtores representativos no estado do Rio de Janeiro.

Foram estimados os escores de eficiência técnica e técnica ambiental considerando uma única fronteira de produção, ou seja, com os dados empilhados, sobre a pressuposição de retornos constantes e variáveis e aplicado o teste de duas amostras de Kolmogorov-Smirnov. Para a eficiência técnica, obteve-se a estatística $D=0,3012$, enquanto para a eficiência técnica ambiental a estatística foi $D=0,6153$, sendo ambos os testes significativos ao nível de significância de 1%. Isso indica que devem ser analisadas as estimativas de eficiência técnica e técnica ambiental sobre a pressuposição dos retornos variáveis.

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas para a eficiência técnica (τ_1), eficiência técnica ambiental (τ_2), Índice de Eficiência Baseada nas Folgas (SBEI), o custo da manutenção da área com mata por produtor representativo e o custo em Reais por hectare.

Tabela 2 – Estimativas do modelo para os produtores representativos, Rio de Janeiro, 2006 e 2017.

Variáveis	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
2006					
τ_1	81	0,40	0,33	0,04	1
τ_2	81	0,59	0,27	0,21	1
SBEI	81	0,61	0,25	0,05	1
Custo por produtor (R\$)	81	13.824,01	10.977,77	0,00	48.268,78
Custo (R\$/ha)	81	400,67	412,92	0,00	3.130,50
2017					
τ_1	75	0,39	0,29	0,08	1
τ_2	75	0,60	0,26	0,22	1
SBEI	75	0,60	0,22	0,11	1
Custo por produtor (R\$)	75	14.596,77	8.857,95	0,00	45.477,77
Custo (R\$/ha)	75	618,05	813,77	0,00	5.478,93

Fonte: Resultados da pesquisa.

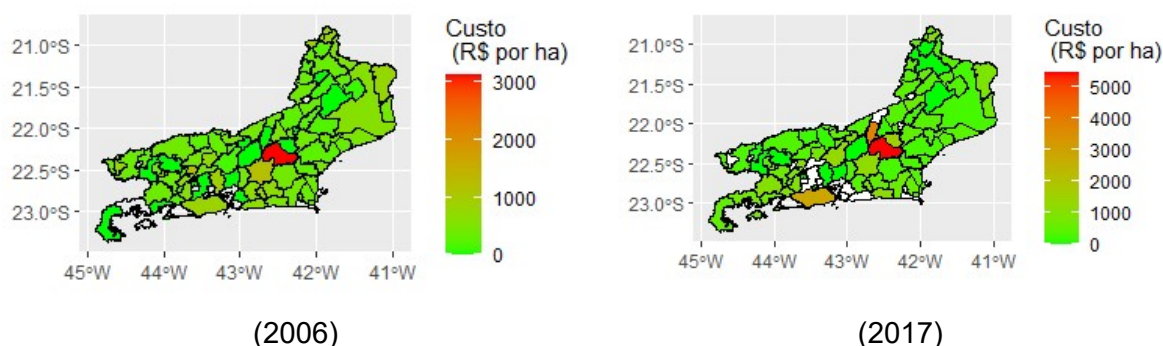
Os escores de eficiência técnica médio de 2006 e 2017 indicam que a produção agropecuária poderia aumentar em aproximadamente 60% se a ineficiência fosse corrigida. Os valores para a eficiência técnica, técnica ambiental e SBEI foram similares entre ambos os períodos. O escore médio de eficiência técnica ambiental (τ_1) foi superior àquele para a eficiência técnica (τ_2), indicando que os produtores representativos são mais homogêneos quando se considera a restrição ambiental.

Destaca-se o aumento do custo associado à restrição de uso da área entre os períodos em 54,25% $[(618,05-400,67)/(400,67)]$. Esse aumento pode estar relacionado à redução do tamanho da área do produtor representativo médio entre 2006 e 2017 (Tabela 1) uma vez que, segundo Tourinho e Passos (2006), a redução da área utilizável em propriedades menores pode comprometer a viabilidade econômica do empreendimento.

O custo de oportunidade anual da manutenção das áreas cobertas com matas estimado representa um valor importante para o produtor, uma vez que em 2006 e 2017 representou 27,36 % (13,82/50,21) e 31,8% (14,59/45,8) da receita agropecuária, respectivamente. Esse custo representou mais de 90% da receita agropecuária para o produtor representativo médio dos municípios de Areal e Mendes em 2006, enquanto para o produtor representativo médio de Petrópolis esse percentual foi de 3%.

A Figura 1 apresenta a distribuição espacial do custo de oportunidade da manutenção da área coberta com matas na propriedade para o produtor representativo médio por municípios no estado do Rio de Janeiro. Pode-se observar o aumento do custo por hectare (Figura 1), como indicado no valor máximo na legenda de cada figura, entre 2006 e 2017. O produtor médio de maior custo de oportunidade em 2006 era aquele do município de Nova Friburgo (R\$ 3.130,50) e encontra-se com a coloração vermelha na figura para 2006. Já em 2017, destacam-se os custos dos produtores dos municípios de Nova Friburgo (R\$ 5.478,93) e Sumidouro (R\$ 3.867,24).

Figura 1 – Distribuição espacial do custo em Reais por hectare (ha), produtores representativos, Rio de Janeiro, 2006 e 2017.



Fonte: Resultados da pesquisa

Como estratégia de evitar as perdas da produção agrícola em função da redução do desmatamento, Azevedo Júnior, Rodrigues e Silva (2022), destacam o papel da difusão tecnológica, especialmente para pequenos agricultores, e o apoio privado. Essas estratégias permitem elevar a eficiência produtiva dos produtores agropecuários e reduzir o custo de oportunidade da área ocupada com as matas.

Além desses, os programas de pagamento por serviços ambientais (PSA) que procuram “compensar provedores de tais serviços pelas externalidades positivas geradas por sua manutenção.” (Alarcon; Fantini, 2012, p. 15). Essa compensação pode ser realizada via transferência monetária, de tecnologia ou de insumos ou capacitação, como o programa “Produtor de Água” (Brasil, 2021) ou “Projeto Conservador das Águas” (Extrema, 2021).

Embora uma governança robusta possa ajudar a garantir a preservação das áreas com florestas, os incentivos à conservação também deverão de aumentar ao longo do tempo, acompanhando as futuras rendas das terras agrícolas, segundo Phelps *et al.* (2013). Contudo, na formulação dos programas PSA deve ser consideradas as conclusões de Kemigisha *et al.* (2023) sobre os efeitos dos PSA. Segundo os autores, uma vez que o Pagamento por Serviços Ambientais cessa, os produtores tendem a abandonar as práticas do programa, embora os ganhos de cobertura florestal relativamente maior sejam mantidos.

Ademais, segundo Pinto e Voivodic (2021), para além da redução do desmatamento, a Mata Atlântica está entre os ecossistemas prioritários globais para restauração, considerando ganhos para a conservação da biodiversidade, mitigação climática e custos de restauração.

Considerações Finais

Esse trabalho analisou a evolução da eficiência técnica, ambiental e do custo de oportunidade associado à área coberta com matas nos estabelecimentos agropecuários utilizando a medida de desempenho baseada nas folgas entre 2006 e 2017.

Os resultados indicaram que não ocorreram melhorias na alocação dos insumos e geração dos produtos entre os produtores representativos analisados entre 2006 e 2017. Isso aponta para a necessidade de políticas públicas que objetivem melhorar a eficiência técnica e ambiental dos sistemas de produção, seja na gestão do sistema produtivo, seja fornecendo novos conhecimentos técnicos que permitam aos produtores elevarem a sua produção ou fornecendo incentivos via redução de taxas de juros para aquisição de novas máquinas e equipamentos mais eficientes.

Essas políticas públicas na medida que elevem a eficiência podem reduzir a pressão para a incorporação das áreas ocupadas com matas ao processo produtivo, reduzindo o seu custo de oportunidade. Políticas e programas de remuneração pela conservação dos recursos naturais com apoio governamental ou da iniciativa privada também são necessários e possíveis, como os programas “Produtor de Água”, “Projeto Conservador das Águas” que fornecem de treinamento técnico até remuneração monetária pela conservação das matas.

Referências

ALARCON, G. G.; FANTINI, A. C. Desmistificando o pagamento por serviços ambientais. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 25, n. 2, p. 14 – 17, 2012. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/777>. Acesso em: 25 fev. 2024.

ALENCAR, P. A.; ROSANO-PEÑA, C.; GUARNIERI, P.; SERRANO, A. L. M. Ecoeficiência e preço sombra das emissões de gases de efeito estufa na suinocultura brasileira. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 12, n. 2, p.377- 408, 2019. DOI: 10.17765/2176-9168.2019v12n2p377-408.

ANGELSEN, A. Forest cover change in space and time: combining the von Thunen and forest transition theories. **World Bank Policy Research Working Paper**, Washington, n. 4117, p. 1-43, 2007. Disponível em: https://documents1.worldbank.org/curated/en/543631468324883529/pdf/wps4117.pdf?_gl=1*1bg6196*_gcl_au*NjcwMjc4MzZMwLjE3MjQxNjQ0MDI. Acesso em: 25 fev. 2024.

ANGELSEN, A. Policies for reduced deforestation and their impact on agricultural production. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 107, n. 46, p. 19639-19644, 2010.

AZEVEDO JÚNIOR, W. C.; RODRIGUES, M.; SILVA, D.C.C. Does agricultural efficiency contribute to slowdown of deforestation in the Brazilian Legal Amazon?

Journal for Nature Conservation, Munich, v. 65, p. 1-8, 2002. DOI 10.1016/j.jnc.2021.126092

BACHA, C. J. C. **Economia e política agrícola no Brasil**. Campinas: Alínea, 2018.

BANKER, R. D. Hypothesis tests using data envelopment analysis. **The Journal of Productivity Analysis**, Boston, v. 7, p. 139-159, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00157038>.

BANKER, R. D.; NATARAJAN, R. Statistical tests based on DEA efficiency scores. *In*: COOPER, W.; SEIFORD, L.; ZHU, J. **Handbook on Data Envelopment Analysis**. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004. chapter 11, p. 265–298.

BOUCHER, D.; ROQUEMORE, S.; FITZHUGH, E. Brazil's Success in Reducing Deforestation. *Tropical Conservation Science*, v. 6, n. 3, p. 426-445, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1177/19400829130060030>.

BOYD, G. A.; MCCLELLAND, J. D. The impact of environmental constraints on productivity improvement in integrated paper plants. **Journal of Environmental Economics and Management**, San Diego, v. 38, n. 2, p. 121-142, Sept. 1999.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n°s 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n° 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 149, n. 102, p. 1-8, 28 maio 2012. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=28/05/2012&jornal=1&pagina=1&totalArquivos=168>. Acesso em 21 out. 2021.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional e do Desenvolvimento Regional. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Produtor de Água**. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua>. Acesso em: 27 nov. 2021.

CAMPOS, S. A. C. **Custo de oportunidade da Reserva Legal do Código Florestal entre 1995/96 e 2006 e seu determinantes**. 2015. 162 p. Tese (Doutorado em Ciências Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

CAMPOS, S. A. C.; BACHA, C. J. C. O custo privado da reserva legal para os produtores agropecuários de São Paulo e Mato Grosso nos anos de 1995 e 2006. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 54, n. 1, p. 71 – 88, 2016. DOI 10.1590/1234-56781806-9479005401004.

CARLUCCI, M. B.; MARCILIO-SILVA, V.; TOREZAN, J. M. The Southern Atlantic Forest: use, degradation, and perspectives for conservation. *In*: MARQUES, M. C. M.; GRELE, C. E. V. **The Atlantic Forest**. Switzerland: Springer Nature, 2021. p. 21 – 114.

CECCHINI, L. VENANZI, S.; PIERRI, A.; CHIORRI, Massimo. Environmental efficiency analysis and estimation of CO2 abatement costs in dairy cattle farms in

Umbria (Italy): a SBM-DEA model with undesirable output. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v.197, p. 895- 907, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.165.

CHOMITZ, K. M. Transferable Development Rights and Forest Protection: An Exploratory Analysis. **International Regional Science Review**, Thousand Oaks, v. 27, n. 3, p. 348-373, July 2004.

COELLI, T. J.; PRASADA RAO, D. S.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2. nd. New York: Springer, 2005.

EXTREMA. **Conservador das Águas**. Ponte Nova: Prefeitura de Extrema, 2021. Disponível em: <https://www.extrema.mg.gov.br/conservadordasaguas/>. Acesso em: 27 nov. 2021.

FÄRE, R.; GROSSKOPFA, S.; TYTECA, D. An activity analysis model of the environmental performance of firms — application to fossil-fuel-fired electric utilities. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 18, n. 2, p. 161-175, Aug. 1996.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES; A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: Teoria, modelos e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 2009.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao>. Acesso em: 21 out. 2021.

IBGE. **Censo agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=73096>. Acesso em: 21 out. 2021.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em 21 out. 2021.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Ipeadata**: índice de preços ao produtor amplo - disponibilidade interna (IPA-DI) - origem - produtos industriais: índice. Brasília: IPEA, 2021. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em: 15 nov. 2021.

KEMIGISHA, E.; BABWETEERA, F.; MUGISHA, J.; ANGELSEN, A. Payment for environmental services to reduce deforestation: do the positive effects last? **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 209, p. 1-12, 2023. DOI 10.1016/j.ecolecon.2023.107840.

KOLMOGOROV, A. N. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. **Giornale dell' Istituto Italiano**, [S. l.], v. 4, p. 83-91, 1933.

LAURANCE, W. F.; SAYER, J.; CASSMAN, K. G. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v 29, n. 2, p. 107 – 116, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.12.001>

LEE, J.-D.; PARK, J.-B.; KIM, T.-Y. Estimation of the shadow prices of pollutants with production/environment inefficiency taken into account: a nonparametric directional

distance function approach. **Journal of Environmental Management**, London, v. 64, n. 4, p. 365-375, 2002.

MATSUMOTO, K.; MAKRIDOU, G.; DOUMPOS, M. Evaluating environmental performance using data envelopment analysis: The case of European countries. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 272, p. 1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122637>.

PELLENZ, J. L. V.; ALMEIDA, M; LIRIO, V. S. Eficiência técnica agropecuária e desmatamento: análise espacial para a Amazônia Legal brasileira. **Estudios Económicos**, México, v. 38, n. 77, p. 119-146, 2021

PENA, R. S.; SERRANO, A. L. M.; BRITTO, P. A. P.; FRANCO, V. R.; GUARNIERI, P. THOMÉ, K. M. Environmental preservation costs and eco-efficiency in Amazonian agriculture: application of hyperbolic distance functions. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 197, n. 1, p. 699-707, 2018. DOI [10.1016/j.jclepro.2018.06.227](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.227).

PERMAN, R.; MA, Y.; MCGILVRAY, J.; COMMON, M. **Natural resource and environmental economics**. 3. th. New York: Person: Addison Wesley, 2003.

PHELPSA, J.; CARRASCOA, L. R.; WEBBA, E. L.; KOHA, L .P.; PASCUALC, U. Agricultural intensification escalates future conservation costs. **PNAS**, Washington, v. 110, n. 19, p. 7601-7606, 2013. DOI: [10.1073/pnas.1220070110](https://doi.org/10.1073/pnas.1220070110)

PICAZO-TADEO, A. J.; REIG-MARTÍNEZ, E.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F. Directional distance functions and environmental regulation. **Resource and Energy Economics**, Amsterdam, v. 27, n. 2, p. 131-142, June 2005. DOI: [10.1016/j.reseneeco.2004.07.001](https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2004.07.001)

PINTO, L. F.G; VOIVODIC, M. Reverse the tipping point of the Atlantic Forest for mitigation. **Nature Climate Change**, London, v. 11, n. 5, p. 364- 365, May 2021.

ROSANO-PEÑA, C.; TEIXEIRA, J.R.; KIMURA, H. Eco-efficiency in Brazilian Amazonian agriculture: opportunity costs of degradation and protection of the environment. **Environmental Science and Pollution Research**, Berlin, v. 28, p. 62378–62389, 2021. DOI [10.1007/s11356-021-14867-6](https://doi.org/10.1007/s11356-021-14867-6).

SHARP, J. A.; MENG, W.; LIU, W. A modified slacks-based measure model for data envelopment analysis with ‘natural’ negative outputs and inputs. **Journal of the Operational Research Society**, Houndmills, v. 58, n. 12, p. 1672-1677, 2007. DOI [10.1057/palgrave.jors.2602318](https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602318).

SMIRNOV, N. V. Estimate of deviation between empirical distribution functions in two independent samples. **Bulletin Moscow University**, [Moscow], v. 2, p. 3-16, 1933.

TATEISHI, H. R.; BRAGAGNOLO, C.; ALMEIDA, A. A. Forest, agriculture and land conversion: environmental efficiency in Brazilian Amazon rainforest. **Forest Policy and Economics**, [Amsterdam], v. 133, p. 1-10, 2021. DOI [10.1016/j.forpol.2021.102615](https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102615).

TONE, K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 130, n. 3, p. 498-509, May 2001.

TOURINHO, L. A. M.; PASSOS, E. O código florestal na pequena propriedade rural: um estudo de caso em três propriedades na microbacia do rio Miringuava. **Revista RA'EGA**, Curitiba, v. 12, p. 221-233, 2006. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/4931>. Acesso em 25 fev. 2024.

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **IPPA**. Piracicaba, 2021. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/ippa.aspx>. Acesso em :15 nov. 2021.

VAN DER HOFF, R.; RAJÃO, R. The politics of environmental market instruments: coalition building and knowledge filtering in the regulation of forest certificates trading in Brazil. **Land Use Policy**, Guildford, v. 96, p. 1-9, 2020. DOI 10.1016/j.landusepol.2020.104666.

ZHOU, P., ANG, B. W.; POH, K. L. Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies. **Energy Economics**, Amsterdam, v. 30, n. 1, p. 1-14, jan. 2008. DOI: 10.1016/j.eneco.2006.05.001

ZHOU, P., ANG, B. W.; POH, K. L. Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 111-118, nov. 2006. DOI: doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.12.001