

Eficiência técnica como estratégia de conservação na Amazônia: fronteira estocástica e produtividade dos estabelecimentos agropecuários do Norte do Brasil

Technical Efficiency as a Conservation Strategy in the Amazon: Stochastic Frontier Analysis and the Productivity of Agricultural Establishments in Northern Brazil

José Wanderley Moura Nogueira

Doutorando no programa de pós-graduação em economia da Universidade Federal do Pará.

Belém, Pará (PA), Brasil

Juliana de Sales Silva

Docente na faculdade de economia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará.

Marabá, Pará (PA), Brasil

GT 03 - Evolução, estrutura, competitividade e dinâmica das cadeias agroindustriais

Resumo: Desde as décadas de 1960–1970, a modernização agropecuária elevou a produtividade e reposicionou o Brasil no comércio internacional. Na Região Norte, entretanto, a expansão produtiva ocorre sob restrições ecológicas do bioma amazônico, o que torna decisiva a transição de “produzir mais” para “produzir melhor”, por meio de intensificação sustentável, gestão e uso eficiente de fatores, reduzindo a pressão por conversão de terras. Este artigo avalia a eficiência técnica da agropecuária no Norte do Brasil e investiga seus determinantes. Utiliza-se uma fronteira estocástica de produção (SFA) com forma funcional Cobb–Douglas, estimada por máxima verossimilhança, com termo de ineficiência de distribuição exponencial e erros robustos via bootstrap. As estimativas baseiam-se em tabulação especial do Censo Agropecuário 2006 (IPEA), com unidades representativas por município e classes de área; incluem-se dummies por estado e por grupos de área para controlar heterogeneidades estruturais. Os resultados indicam retornos aproximadamente constantes à escala e evidenciam o capital como o principal fator associado ao Valor Bruto da Produção (VBP), seguido por trabalho e insumos. Quanto à ineficiência, financiamento, irrigação e experiência reduzem significativamente as perdas de desempenho, sugerindo que ganhos podem ser obtidos por investimento, tecnologia e organização produtiva, mais do que por expansão territorial. Os escores revelam heterogeneidade regional, com Rondônia apresentando maior eficiência média e Tocantins a menor, e apontam estabelecimentos de porte médio como os mais eficientes. Conclui-se que políticas de crédito, infraestrutura produtiva e difusão tecnológica podem elevar o VBP sem expansão de área, alinhando competitividade e conservação. O estudo contribui ao evidenciar onde a intensificação pode gerar ganhos econômicos com menor custo ambiental.

Palavras-chave: Eficiência técnica, Fronteira estocástica de produção (SFA), Produtividade dos fatores, Agropecuária, Amazônia brasileira.

Abstract: Since the 1960s–1970s, agricultural modernization has increased productivity and repositioned Brazil in international trade. In the Northern Region, however, production expansion takes place under the ecological constraints of the Amazon biome, making the shift from “producing more” to “producing better” decisive—through sustainable intensification, improved management, and more efficient use of inputs and factors, thereby reducing pressure for land conversion. This article assesses the technical efficiency of agriculture and livestock production in Northern Brazil and examines its determinants. We estimate a stochastic production frontier (SFA) with a Cobb–Douglas functional form, fitted by maximum likelihood, with an exponential inefficiency term and bootstrap-robust standard errors. The estimates rely on a special tabulation of the 2006 Agricultural Census (IPEA), using representative units by municipality and land-size classes; state and area-group dummies are included to control for structural heterogeneity. Results indicate approximately constant returns to scale and show capital as the main factor associated with Gross Production Value (GPV), followed by labor and inputs. Regarding inefficiency, credit financing, irrigation, and experience significantly reduce performance losses, suggesting that gains can be achieved through investment, technology, and productive organization rather than territorial expansion. Efficiency scores reveal substantial regional heterogeneity, with Rondônia displaying the highest average efficiency and Tocantins the lowest, and they indicate that medium-sized establishments are the most efficient. We conclude that credit policies, productive infrastructure, and technological diffusion can raise GPV without area expansion, aligning competitiveness with conservation. The study contributes by identifying where intensification can generate economic gains at lower environmental cost.

Keywords: Technical efficiency, Stochastic production frontier (SFA), Factor productivity, Agriculture and livestock, Brazilian Amazon.

1. Introdução

A partir das décadas de 1960 e 1970, a agricultura mundial passou por um intenso processo de modernização, caracterizado pela difusão de máquinas, fertilizantes, defensivos e melhoramento genético animal e vegetal. No Brasil, essa transformação consolidou a transição de um setor essencialmente agrícola para um sistema agropecuário integrado, elevando a produtividade, diversificando cadeias e reposicionando o país no comércio internacional de commodities. Esse movimento ampliou as exportações, sofisticou a pauta agroindustrial e atraiu investimentos, tornando o agronegócio um dos pilares da economia nacional (Amorim, 2009; Buanain et al., 2014; Sepulcri et al., 2005; Mapa, 2019).

Contudo, a expansão produtiva conflita com assimetrias territoriais e limites ecológicos. Na região Norte do Brasil, cuja base produtiva se insere majoritariamente no bioma amazônico, o desafio é combinar produtividade com conservação ambiental. Em fronteiras agrícolas, o crescimento extensivo via abertura de novas áreas pode elevar o produto no curto prazo, mas tende a impor custos ambientais e reputacionais crescentes, além de riscos regulatórios e de mercado. Nesse contexto, a pergunta central deixa de ser como produzir mais? para tornar-se como produzir melhor? Com o intuito de aproximar os estabelecimentos agropecuários da fronteira de produção a partir de práticas sustentáveis, como o uso eficiente de insumos, manejo, organização produtiva e tecnologias apropriadas, reduzindo a pressão por conversão de terras e preservando serviços ecossistêmicos.

Para orientar políticas e decisões privadas nessa direção, é necessário medir com precisão a eficiência técnica no nível do estabelecimento, distinguindo ganhos decorrentes de adoção tecnológica e gestão daqueles associados apenas à expansão fundiária. Quando uma unidade opera distante da fronteira de produção, há espaço para incrementos de produto por intensificação sem aumentar a área utilizada; já trajetórias baseadas em expansão territorial tendem a ser ambientalmente mais custosas e economicamente menos resilientes a choques de preços, crédito e regulação. Assim, avaliar eficiência técnica não é um exercício meramente contábil, trata-se de um instrumento que indica onde elevar a renda, aumentar o produto e respeitar a conservação na Amazônia.

Diante da relevância socioeconômica da agropecuária e da urgência de estratégias produtivas compatíveis com os limites ecológicos regionais, este artigo tem por objetivo geral avaliar a eficiência técnica dos estabelecimentos agropecuários da Região Norte do Brasil. Especificamente, busca-se: (i) estimar escores de eficiência técnica no nível do estabelecimento; e (ii) investigar os determinantes da ineficiência, com ênfase em fatores

relacionados a escala, capital, trabalho, insumos e organização produtiva. Ao fazê-lo, pretende-se identificar caminhos de intensificação sustentável capazes de elevar o valor bruto da produção (VBP) sem induzir a conversão de novas áreas.

Além desta introdução, o presente estudo está dividido em mais quatro seções: revisão de literatura, na qual aborda-se trabalhos internacionais, nacionais e regionais sobre medidas de eficiência; a estratégia metodológica, que apresenta a descrição dos dados e os passos de elaboração da pesquisa; os resultados e discussões do estudo, e por fim, as considerações finais.

2. Revisão da Literatura

2.1 Arcabouço Teórico

Debreu (1951), em *The Coefficient of Resource Utilization*, estabelece uma das bases formais para a mensuração da eficiência produtiva ao propor uma medida de eficiência técnica definida como um índice radial. Em termos operacionais, essa medida indica quanto seria possível reduzir proporcionalmente todos os insumos sem alterar o nível de produto, ou, de forma equivalente, quanto seria possível expandir proporcionalmente o produto mantendo fixo o vetor de insumos (Debreu, 1951).

A partir dessa formulação, Farrell (1957) amplia o conceito ao decompor a eficiência em dois componentes complementares. O primeiro é a eficiência técnica, entendida como a capacidade da firma de alcançar o máximo produto possível dado um conjunto de fatores e a tecnologia disponível. O segundo é a eficiência alocativa, que diz respeito à escolha da combinação ótima de insumos, levando em conta preços relativos, de modo a produzir ao menor custo. A articulação desses dois elementos fornece a noção de eficiência econômica total (Farrell, 1957).

Coelli et al. (1998) sistematizam essa tradição e ressaltam que a mensuração da eficiência pode assumir duas orientações analíticas. Na orientação a insumos, a ineficiência é interpretada como o excesso proporcional de fatores utilizados em relação a uma referência eficiente; já na orientação a produto, a ineficiência corresponde ao déficit proporcional de produção, isto é, ao quanto o produto poderia ser expandido com os mesmos insumos até atingir a fronteira de produção. Assim, a eficiência técnica expressa o grau de proximidade da unidade produtiva em relação à fronteira, sintetizando o potencial de ganhos por melhoria tecnológica e gerencial (Debreu, 1951; Farrell, 1957; Coelli et al., 1998).

2.2 Estudos Empíricos

Quadro 1 – Síntese de estudos empíricos sobre eficiência

Estudo	Método	Resultado principal
Bojnec et al. (2014)	DEA (CRS) + painel	Eficiência cresce com tecnologia/instituições; porte médio favorece.
Wu et al. (2016)	DEA (CRS) + Tobit	Há ineficiências ligadas a excesso de capacidade e ambiente operacional.
Vicente (2012)	DEA (CRS)	Predomina ineficiência alocativa; heterogeneidade regional.
Freitas (2014)	SFA + regressão quantílica	Tamanho–eficiência é não linear; gestão/tecnologia elevam eficiência.
Silva et al. (2018)	PSM + Probit (Heckman) + SFA	Pluriatividade reduz eficiência técnica frente a estabelecimentos agrícolas.
Pereira e Mendes (2002)	Função de produção + regressão múltipla	Determinantes não se mostraram robustos no recorte analisado.
Pereira et al. (2016)	DEA (CRS) + Malmquist	Mudança tecnológica foi incremental, com difusão de melhores práticas.
Mariano et al. (2009)	DEA + FDH	Baixa eficiência; gargalos de gestão/capital e irrigação pesam.
Santos et al. (2009)	DEA (CRS/VRS)	Forte heterogeneidade de eficiência entre regiões/estados produtores.
Freire et al. (2012)	DEA (CRS)	Eficiência econômica é limitada e concentrada em poucos produtores.
Lopes (2014)	DEA (VRS; ecoeficiência)	Ecoineficiência elevada; grande margem de melhoria sem expandir área.
Nunes et al. (2014)	DEA (CRS/VRS)	Eficiência depende do suposto de escala; VRS melhora desempenho medido.
Alvim e Stülp (2014)	DEA (CRS) + Tobit	Estrutura produtiva e uso de fatores explicam diferenças de eficiência.
Silva et al. (2017)	DEA 2 estágios + bootstrap	Capital humano e interação institucional reduzem ineficiência; dívidas pioram.

Fonte: Elaboração própria com resultados da pesquisa.

3. Metodologia

3.1 Fonte e Tratamento de dados

Neste artigo, as informações sobre as variáveis utilizadas são originadas de uma tabulação especial dos microdados do Censo Agropecuário de 2006, realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Tal tabulação consistiu em organizar todos os dados de acordo com a classe de área dos estabelecimentos e condição do produtor, o que contribui para uma estimativa mais precisa da relação entre a eficiência técnica e seus determinantes dos estabelecimentos agropecuários do Norte do Brasil.

Assim como nos trabalhos de Helfand e Levine (2004), Helfand et al. (2015) e Silva et al. (2018), foram criadas unidades representativas para cada tamanho do estabelecimento e condição do produtor em relação a terra, em cada município. Estas unidades representativas foram obtidas pela divisão do valor total de determinada variável pelo número de estabelecimentos, em um grupo de área e município específico. Assim, em cada grupo de área pertencente a cada município, construiu-se uma unidade representativa. Como as informações obtidas não representam os microdados do Censo Agropecuário, a utilização de tal procedimento foi necessária.

Deste modo, criou-se Dummies representativas de 10 grupos de área: menos de 1 hectare (ha), 1 a menos de 5ha, 5 a menos de 10 ha, 10 a menos de 20ha, 20 a menos de 50ha, 50 a menos de 100ha, 100 a menos de 200ha, 200 a menos de 500ha, 500 a menos de 1000ha, mais de 1000ha.

3.2 Estratégia Empírica

A forma estocástica da fronteira total produção (FTP) possui uma interpretação ajustada de ineficiência, o termo de erro é composto, subdividindo-se em duas partes, na qual a primeira implica em um componente representativo de fatores aleatórios, captados por efeitos estocásticos, bem como os possíveis choques exógenos como nos casos de estiagens e pragas da atividade agropecuária; e a segunda parte na qual representa toda a ineficiência da firma comparada à fronteira. Deste modo, como o objetivo nesta pesquisa é medir a eficiência de estabelecimentos agropecuários da Região Norte do Brasil, utilizou-se assim como em Freitas (2014) e Silva et al. (2018) a forma paramétrica estocástica da fronteira (Freitas, 2014; Barbosa, 2018).

Para a estimação deste modelo, Coelli e Battese (1996) ressaltam que é necessária a definição da forma funcional da fronteira estocástica, que pode ser Leontief, Cobb-Douglas¹ e Translog. Nesta pesquisa, empregou-se a forma funcional Cobb-Douglas, que trabalha com retornos de escala restritos aos mesmos valores para todas as firmas da amostra e elasticidade de substituição unitária.

¹ Conforme argumentado em Freitas (2004), “Chambers (1988) e Silva (1996) identificaram algumas vantagens do uso da Cobb-Douglas: a) simplicidade na estimativa dos parâmetros, pois na forma logarítmica a função Cobb-Douglas é linear nos parâmetros; b) os coeficientes da regressão fornecem as elasticidades de produção, podendo ser comparadas entre si; c) por se tratar de uma função homogênea, o somatório dos coeficientes da regressão determina os rendimentos à escala; e d) se comparada à forma funcional transcendental logarítmica (translog), a função de produção Cobb-Douglas apresenta um pequeno número de parâmetros a serem estimados, sendo menos susceptível aos comuns problemas de multicolinearidade na estimativa da função de produção”.

Neste estudo, os estabelecimentos agropecuários da Região Norte (i) foram agrupados por grupos de área (j), e foram incluídas variáveis dummies para estados do Norte e grupo de área total. Assim, com base em Coelli et al. (2003), a forma logarítmica da fronteira estocástica, pode ser especificada como:

$$\ln Y_{ij} = \sum_{i=1}^n \ln \beta_{ij} X_{ij} + \sum_{h=1}^{450} E_e + \sum_{g=1}^9 G_g + v_{ij} - u_{ij} \quad (1)$$

Em que Y_{ij} representa o valor da produção do município i referente ao grupo de área j ; X_{ij} representa as quantidades utilizadas dos fatores de produção: área do estabelecimento utilizada para lavoura e pastagem, trabalho, estoque de capital e despesas com insumos comprados; E_e representa *dummies* para os municípios da Região Norte do Brasil; G_g representa *dummies* para os 10 grupos de área total considerados; e $\ln \beta_{ij}$ é um vetor dos parâmetros estimados, que definem a tecnologia de produção. As *dummies* de estado e grupo de área foram incluídas para captar características fixas de cada estado e grupo de área, respectivamente, além de tentar controlar possível autocorrelação espacial, de forma a obter uma estimativa da eficiência, livre desses efeitos.

Os termos de erro v_{ij} e u_{ij} são vetores que representam componentes distintos do erro, no qual o primeiro é o termo de erro aleatório, com distribuição normal, independente e identicamente distribuída (*iid*), truncada em zero e com variância $\sigma_v^2 [v \sim iid \quad N(0, \sigma_v)]$; e o segundo, é o responsável por captar a ineficiência técnica do i -ésimo grupo. Este termo unilateral pode seguir a distribuição meio-normal, normal truncada, exponencial e gama (Aigner; Lovell; Schmidt, 1977; Greene, 1980). Neste trabalho, assim como em Tupy e Shirota (1998), foi considerada a distribuição exponencial².

Em seguida a estimação da fronteira de produção, foram incorporados um vetor de variáveis explicativas do termo de erro relativo à ineficiência técnica, como especificação (2), para identificar os efeitos dessas variáveis sobre o desempenho produtivo dos estabelecimentos agropecuários do Norte do Brasil.

$$\ln IT_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \text{Escolaridade}_{ij} + \beta_2 \text{Sexo}_{ij} + \beta_3 \text{Experiência}_{ij} + \beta_4 \text{Aposentadoria}_{ij} + \beta_5 \text{Pluriatividade}_{ij} + \beta_6 \text{Irrigação}_{ij} + \beta_7 \text{RendaGov}_{ij} + \beta_8 \text{Assistência}_{ij} + \beta_9 \text{Financiamento}_{ij} \quad (2)$$

Em que $\ln IT$ é o logaritmo da ineficiência técnica do estabelecimento i referente ao grupo de área j ; β_0 é o termo independente; $\beta_1 \text{Escolaridade}$ representa a baixa escolaridade do responsável pelo estabelecimento; $\beta_2 \text{sexo}$ variável *dummy* que indique que responsável pelo

² Muitos trabalhos empíricos já encontraram evidências de que a escolha da distribuição não influencia o resultado da estimação, como Greene (1990) e Kumbhakar e Lovell (2000).

estabelecimento seja homem; β_3 *Experiência*, representa responsáveis que possuam pelo menos 10 anos de experiência no estabelecimento; β_4 *Aposentadoria*, variável que indica o valor que o responsável pelo estabelecimento recebe de aposentadoria; β_5 *Pluriatividade*, variável *dummy* se o estabelecimento é pluriativo, isto é, se é encontrada atividade agrícola e não agrícola; β_6 *Irrigação*, variável *dummy* que indica se o estabelecimento possui sistema de irrigação; β_7 *RendaGov*, variável que indica a renda recebida de programas sociais do governo; β_8 *Assistência*, variável que indica se o estabelecimento tem acesso à assistência técnica do governo; β_9 *Financiamento*, Variável *dummy* que indica se o estabelecimento possui financiamento.

Após à realização da estimação, para obter a medida de eficiência técnica executou-se o procedimento de Jondrow et al. (1982) na separação dos desvios da fronteira em seus componentes aleatórios e de ineficiência. Segundo este procedimento, a eficiência técnica pode ser definida como a razão entre o produto observado e o produto potencial da amostra.

4. Discussão dos Resultados

4.1 Estatísticas Descritivas

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas

Variáveis	Média	Desvio-padrão
<i>Fronteira</i>		
VBP (R\$)	18.334,69	91.976,25
área (ha)	79,99	262,21
trabalho (und.)	2,52	2,60
insumos (R\$)	8.258,16	69.561,99
capital (R\$)	451.265,30	2.222.793,00
<i>Ineficiência</i>		
sexo (%)	0,908	0,108
escolaridade (%)	0,784	0,193
experiência (%)	0,498	0,232
irrigação (%)	0,039	0,105
assistência (%)	0,136	0,165
financiamento (%)	0,092	0,11
pluriatividade (%)	0,302	0,28
aposentadoria (R\$)	350,18	756,5
renda governo (R\$)	49,24	206,49
área total (ha)	301,63	665,82

Fonte: Elaboração própria com resultados da pesquisa.

Nota: VBP - valor bruto da produção; ha – hectares; und - unidade.

Observa-se, na Tabela 1, que o *Valor Bruto da Produção* médio da região Norte do Brasil foi de R\$18.334,69, com elevado desvio-padrão, indicando grande heterogeneidade na amostra. No tocante a variável *área*, na qual representa a quantidade em hectares das porções

de terra do estabelecimento utilizada somente na atividade produtiva agropecuária, apresentou uma média de utilização de quase 80 ha.

A variável *trabalho* se refere a soma da quantidade de indivíduos contratados e da mão de obra familiar, teve uma média de 2,52 unidades/estabelecimento. *Insumos*, que corresponde aos gastos com meios de produção circulantes³, bem como matérias primas utilizadas na produção, contabilizou em média R\$ 8.258,16.

No que tange à variável *capital*, que representa a soma do gasto efetuados na aquisição de meios de produção fixos e em benfeitorias, apresentou um gasto médio de R\$ 451.265,30. Dentre as variáveis utilizadas para determinar a ineficiência técnica, observou-se que em média a *dummy sexo* apresentou valor de 90,8% indicando que quase todos os responsáveis pelos estabelecimentos são indivíduos do sexo masculino. Já no que se refere ao nível educacional, representada pela variável *escolaridade*, observa-se que 78,4% dos responsáveis pelos estabelecimentos possuem um baixo grau de instrução escolar.

Observa-se, ainda na Tabela 1, que aproximadamente 50% dos responsáveis pelos estabelecimentos possuem pelo menos 10 anos de experiência na atividade agropecuária (*experiência*). Outra informação notável é que apenas 3,9% dos estabelecimentos possuem *irrigação* em seus sistemas produtivos, ainda que seja considerada pela literatura uma excelente prática para aumentar a produtividade, essa estatística possivelmente pode ser explicada pela falta de conhecimento técnico, provocada pela baixa escolaridade e pela falta de *assistência* técnica que consta em apenas 13,6% dos estabelecimentos.

A variável *financiamento*, que representa todos os recursos adquiridos mediante a promessa de pagamento futuro firmado pelos produtores, tal variável obteve uma média de 9,2%. A *dummy pluriatividade*, que por sua vez representa a concomitância que um estabelecimento pode apresentar ao executar outras atividades que não sejam apenas agropecuárias, em média, percebeu-se esse evento ocorre em pouco mais de 30% dos estabelecimentos pesquisados.

Para a *aposentadoria*, constatou-se que em média os produtores recebem cerca de R\$ 350,18. Também foram capitadas outras formas de remunerações oriundas de programas sociais para populações carentes, famílias com perfil rural, entre outros, as quais são representadas pela variável *renda governo*, que contabilizou uma média de R\$ 49,24.

³ Conceito desenvolvido por Marx (1985) para caracterizar uma parte dos meios de produção nos quais podem se exaurir completamente em uma única utilização no processo produtivo, como por exemplo as matérias primas.

A última variável apresentada na supracitada tabela é a *área total*, a qual representa o somatório do espaço ocupado pelo estabelecimento agropecuário, *área total* se difere da *área* pois inclui em si, além da terra produtiva, os espaços que também pertencem ao produtor, mas não são destinados à produção. Nesta condição, a área total apresentou, em média, um espaço de 301,63 hectares.

4.2 Fronteira Estocástica de Produção

Encontram-se, na Tabela 2, os resultados da estimação da fronteira de produção, dos quais foram obtidos por meio do método da Máxima Verossimilhança com o propósito de aumentar a capacidade representativa dos parâmetros. Ressalta-se que o processo de estimação consistiu na estimação dos coeficientes relativos ao valor bruto da produção, ou seja, da eficiência técnica.

Tabela 2 - Fronteira Estocástica de Produção e Ineficiência Técnica

Variáveis	Coefficientes	Erro-padrão robusto (<i>bootstrap</i>)
Fronteira (ln VBP)		
<i>ln área</i>	0,037***	0,011
<i>ln trabalho</i>	0,129***	0,024
<i>ln insumo</i>	0,032**	0,015
<i>ln capital</i>	0,702***	0,014
<i>constante</i>	1,505***	0,152
Ineficiência (Usigma)		
<i>sexo</i>	-0,523 ^{ns}	0,489
<i>escolaridade</i>	-0,339 ^{ns}	0,366
<i>experiência</i>	-1,227***	0,254
<i>irrigação</i>	-1,701*	0,979
<i>assistência</i>	0,199 ^{ns}	0,437
<i>financiamento</i>	-1,753**	0,777
<i>pluriatividade</i>	0,264 ^{ns}	0,212
<i>ln aposentadoria</i>	-0,227***	0,019
<i>ln renda governo</i>	-0,371***	0,044
<i>ln área total</i>	0,079**	0,032
<i>constante</i>	1,608***	0,498
<i>Vsigma</i>	-0,124***	0,047
Wald Test	25698,70	Prob>chi2 0,0000
LFMV	-7128,73	
Número Observações	4.284	

Fonte: Elaboração própria com resultados da pesquisa.

Nota: Significância estatística: *** 1%; ** 5%; * 10%; ns - não significante; LFMV - Logaritmo da função de máxima verossimilhança.

Além disso, foram incluídas no termo de ineficiência (*Usigma*) variáveis que poderiam influenciar tal termo. Para a estimação, utilizou-se a forma logarítmica linear em uma função do tipo Cobb-Douglas, aplicando para o termo de ineficiência uma distribuição exponencial. A

fim de se evitar problemas como a heterocedasticidade, utilizou-se o método *bootstrap* no qual concede maior grau de robustez aos erros e parâmetros do modelo.

Observa-se na supracitada tabela que o resultado da estatística de Wald indica um bom ajustamento do modelo, rejeitando-se a hipótese nula de insignificância conjunta das variáveis para os três modelos estimados. Com a divisão da variância do termo de erro relativo à ineficiência ($Usigma$) pela variância do termo de erro aleatório ($Vsigma$), pode-se testar a existência significativa da ineficiência técnica. Dessa forma, devido ao valor ser superior a zero ($1,608/0,124=12,968$), têm-se que no modelo estimado, parte do termo de erro se deve à ineficiência.

Devido a soma das elasticidades (coeficientes) serem próximos a 1, diz-se que a tecnologia utilizada se aproxima de retornos constantes à escala, desta forma um aumento na utilização destes fatores trará consigo um aumento proporcional ao valor bruto da produção. Trabalhos como Alves et al. (2012), Helfand et al. (2015) e Silva et al. (2018) encontraram esta mesma evidência em suas pesquisas a respeito do Brasil rural.

Observa-se, ainda na Tabela 2, que todas as variáveis da fronteira de produção ($lnar\acute{e}a$, $lntrabalho$, $lninsumo$, $lncapital$) foram estatisticamente significantes e com sinais positivos, como esperado conforme aponta a literatura especializada. O fator que mais contribuiu para um maior VBP é o capital, seguido do trabalho, área e insumo, conforme os valores de suas elasticidades.

Na variável $ln\acute{a}rea$ observa-se que um aumento de 10% na área utilizada na agropecuária paraense, leva a um aumento de 0,37% no VBP. Freitas (2014) também observou uma relação positiva entre a área utilizada e o VBP, porém salientou que essa relação apesar de ser positiva é também não linear, neste sentido, os estabelecimentos conseguem uma elevação da sua eficiência técnica por meio do aumento da área até um determinado ponto, no qual a relação passa a se tornar inversa, esta dinâmica também foi observada neste estudo e podem ser observadas na Tabela 3 e nos Gráficos 3 e 4.

Para a variável *trabalho*, nota-se que um aumento em 10% na quantidade de trabalhadores contratados e familiares, provoca, em média, uma elevação de 1,29% no VBP. Esta relação já se era esperada, pois esta variável apresentou um resultado compatível com o de Soares (2016) em algumas de suas estimações para soja e milho no Brasil rural. No que se refere ao *insumo*, percebe-se que um aumento de 10% na quantidade desta variável está associado a uma elevação média de 0,32% no valor bruto da produção. Essa participação na agregação de valor da produção, por parte dessa variável, pode ser compreendida pela necessidade da

utilização de energia, matéria prima, corretor químico de solo, entre outros, em todas as etapas do processo produtivo⁴. Os seguintes estudos também corroboram estes resultados: Helfand et al. (2015) e Silva et al. (2018).

Para finalizar as variáveis relacionadas aos fatores produtivos, têm-se que no *capital*, um aumento em 10% nesta variável gera, em média, um aumento de 7,02% no VBP. Uma possível explicação para isto está atrelada ao fato de que esta variável representa o valor investido em elementos que possuem a capacidade de aumentar o VBP por meio da elevação da produtividade dos estabelecimentos. Neste sentido, observa-se que o aumento de produtos em relação ao tempo, quando se investe na aquisição de novas tecnologias como maquinários, veículos e implementos; e/ou gera-se melhorias no estabelecimento por meio de benfeitorias, às quais recompõe a capacidade produtiva gasta pela depreciação. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2018) e Alves et al. (2012).

No que tange as elasticidades dos prováveis fatores explicativos da ineficiência, observa-se que *sexo*, *escolaridade*, *assistência* e *pluriatividade*, não foram estatisticamente significantes, não possibilitando assim inferências significativas com relação a essas variáveis. Por sua vez, a *experiência* foi estatisticamente significativa a 1% e exerce um efeito negativo sobre a ineficiência, ou seja, o responsável do estabelecimento ter pelo menos 10 anos de experiência com a atividade agropecuária, diminui sua ineficiência.

A elasticidade encontrada indica que um aumento de 10% da experiência diminui, em média, 12,27% a ineficiência. Este resultado já se era esperado devido o aprendizado empírico advindo com os anos de experiência, isto é, a produtividade agropecuária pode ser elevada pela experiência do produtor, que faz com que este consiga se sobressair de situações adversas que podem ocorrer em seus estabelecimentos. Resultados semelhantes foram encontrados por Oyewol (2009) em sua pesquisa sobre determinantes da cultura do milho, Abdulai et al. (2013) no estudo a respeito da eficiência técnica na produção de milho e Freitas (2014) na sua pesquisa de produtividade e tamanho do estabelecimento no Brasil.

A variável *irrigação* demonstrou, assim como esperado, uma relação significativa e negativa com a variável dependente. Nesta perspectiva, quando ocorrer um aumento em 10% de estabelecimentos que utilize essa tecnologia, isto implicará em uma redução média de 17,01 % na ineficiência técnica. Este evento pode estar associado ao aumento da produtividade, provocado pela possibilidade de reprodução de cenários climáticos, dos quais podem

⁴ Marx (1985) em sua obra *O Capital* argumenta sobre a importância desses bens pela sua capacidade de transferência de valor para o produto final.

homogeneizar aspectos como temperatura e condições do solo de maneira a atender as especificidades das lavouras e pastagens. Este resultado se concilia com outros estudos como de o Helfand et al. (2004), Vicente (2004), Khai e Yabe (2011) e Freitas (2014).

Com base no resultado do *financiamento*, na Tabela 2, pode-se inferir que um aumento de 10% desta variável estaria associado a uma redução da ineficiência de 17,53%. Acredita-se que este resultado é explicado pelo fato que novos recursos, oriundos do financiamento, podem ampliar a possibilidade de investimento na produção agropecuária. Esta suposição corrobora-se com a ótica produtivista de financiamento discutida em Freitas e Teixeira (2011). Além disso, Freitas (2014) discute ainda em seu trabalho que esta variável provoca a elevação da eficiência principalmente em pequenas propriedades.

Dentre as variáveis significantes estatisticamente e negativas, a *aposentadoria* apresentou o menor efeito na composição da ineficiência agropecuária do Norte. Têm-se que um aumento de 10% na aposentadoria está associado a uma redução em 2,27 % nos efeitos da ineficiência. Dessa forma, podemos associar esse acontecimento ao fato de que quando o responsável pelo estabelecimento possui aposentadoria, dispõe-se de uma remuneração a mais, na qual pode ser utilizada como um recurso disponível para ser aplicado na atividade produtiva, tal perspectiva dialoga com a literatura conforme a explicação do financiamento embasada pelo autores supracitados.

Quanto a variável *In renda governo*, percebe-se que o aumento de 10% na renda recebida do governo por programa sociais está associado a uma redução de 3,71% na ineficiência produtiva das propriedades. Assim como no financiamento, este efeito justifica-se com o argumento de que, o aumento dos recursos disponíveis ao produtor, pode aumentar o montante destinado ao investimento na produção e, por conseguinte, a produtividade e eficiência conforme discutido em Freitas et al. (2011) e Freitas (2014).

A variável *área total* se destacou por ser a única com efeito positivo e estatisticamente significativa sobre a ineficiência: um aumento de 10% na área total do estabelecimento associa-se a um acréscimo de 0,79% na ineficiência produtiva. Esse resultado pode refletir, em primeiro lugar, a própria composição da medida, que inclui parcelas do imóvel não diretamente alocadas à produção, reduzindo a intensidade de uso dos fatores e, consequentemente, o VBP observado. Em segundo lugar, propriedades maiores tendem a impor custos crescentes de coordenação, monitoramento e gestão, o que pode dificultar a conversão do tamanho em desempenho produtivo. Em conjunto, a evidência reforça a relação inversa entre eficiência e escala fundiária encontrada por Helfand e Levine (2004), Almeida (2012), Freitas (2014) e Silva et al. (2018).

4.3 Escore de Eficiência Técnica

Tabela 3 - Escores de eficiência técnica média, segundo grupo de área e estado

Grupo de área	Rondônia	Acre	Amazonas	Roraima	Pará	Amapá	Tocantins
<i>menos de 1 ha</i>	0,414 (0,212)	0,465 (0,262)	0,552 (0,251)	0,477 (0,333)	0,577 (0,227)	0,349 (0,219)	0,457 (0,236)
<i>1 a menos de 5 ha</i>	0,702 (0,165)	0,636 (0,217)	0,601 (0,208)	0,397 (0,258)	0,606 (0,211)	0,431 (0,287)	0,429 (0,222)
<i>5 a menos de 10 ha</i>	0,688 (0,168)	0,665 (0,161)	0,539 (0,219)	0,341 (0,233)	0,596 (0,221)	0,460 (0,256)	0,492 (0,194)
<i>10 a menos de 20 ha</i>	0,733 (0,122)	0,692 (0,153)	0,544 (0,223)	0,398 (0,279)	0,604 (0,214)	0,378 (0,254)	0,546 (0,198)
<i>20 a menos de 50 ha</i>	0,748 (0,100)	0,730 (0,120)	0,559 (0,223)	0,501 (0,240)	0,659 (0,175)	0,433 (0,253)	0,624 (0,183)
<i>50 a menos de 100 ha</i>	0,754 (0,093)	0,725 (0,105)	0,589 (0,202)	0,471 (0,218)	0,641 (0,192)	0,447 (0,148)	0,595 (0,175)
<i>100 a menos de 200 ha</i>	0,688 (0,100)	0,692 (0,120)	0,578 (0,199)	0,487 (0,194)	0,592 (0,201)	0,461 (0,222)	0,562 (0,175)
<i>200 a menos de 500 ha</i>	0,594 (0,093)	0,654 (0,166)	0,471 (0,223)	0,432 (0,239)	0,527 (0,200)	0,343 (0,211)	0,539 (0,171)
<i>500 a menos de 1000 ha</i>	0,448 (0,162)	0,521 (0,203)	0,360 (0,157)	0,391 (0,207)	0,371 (0,197)	0,365 (0,209)	0,465 (0,196)
<i>mais de 1000 ha</i>	0,400 (0,168)	0,324 (0,223)	0,341 (0,217)	0,372 (0,226)	0,295 (0,199)	0,472 (0,151)	0,456 (0,217)
Eficiência técnica média	0,620 (0,195)	0,615 (0,214)	0,520 (0,229)	0,520 (0,229)	0,426 (0,238)	0,550 (0,232)	0,415 (0,222)

Nota: ha - hectares; valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Fonte: Elaboração própria com resultados da pesquisa.

Os resultados da Tabela 3, quando observados a nível de unidade federativa, demonstram que os escores médios de eficiência técnica de Rondônia apresentaram-se como os valores mais discrepantes de toda a amostra, dispondo-se de um percentual médio de 62% de eficiência. Deste modo, pode-se considerá-lo como o estado que pratica a atividade agropecuária da maneira mais eficiente de toda região Norte, este resultado também significa que se pode melhorar o desempenho dos estabelecimentos em 38% sem alterar a quantidade utilizada dos fatores de produção. Ademais, esse escore é compatível com a realidade do estado, visto que sua economia sempre foi baseada em ciclos, como o da agropecuária, e outros de perfil semelhantes como o da madeira e o da agricultura e, neste caso, o aperfeiçoamento das técnicas produtivas tendem a melhorar com a experiência da localidade com a atividade.

O estado do Acre, apresentou-se com um percentual de eficiência de 61,5%, resultado bem próximo a Rondônia e, por isso, coloca-se como o segundo estado tecnicamente mais eficiente na agropecuária. Este estado dispõe ainda de uma capacidade média de 38,5% de desenvolvimento do desempenho produtivo, sem a necessidade de expandir seus recursos. É válido ressaltar que o Acre e Rondônia, para além de uma localização próxima, e tamanho territorial semelhante, possuem ainda uma conjuntura histórica com bases semelhantes no âmbito do agroextrativismo, das quais se mantiveram como base da economia. Neste sentido, pode-se especular que seus escores de eficiência são aproximados, em decorrência da semelhança produtiva na qual tende a convergir os níveis de eficiência de ambas as regiões.

Ainda na Tabela 3, o estado do Amazonas se apresentou como o quarto estado mais eficiente na agropecuária do Norte, contabilizando um escore de eficiência técnica média de 52%. Desta forma, aproximadamente metade da sua produção apresenta uma condição de eficiência técnica, deste modo possui oportunidade de se expandir em 48% o desenvolvimento da sua atividade produtiva, apenas via mudança da atuação da capacidade produtiva para uma condição ótima de orientação produto. Além do Amazonas ser o maior estado em extensão territorial, em seu passado, a localidade teve forte laços com extrativismo, do qual de maneira geral possui técnicas muito semelhantes à da agropecuária familiar, isto influencia na escolha da forma de produção da agropecuária.

Roraima se equipara com Amazonas em sua posição de eficiência, pois também possui um escore médio de 52%, desta maneira, também se dispõe da possibilidade de aumentar o desenvolvimento da sua produção agropecuária em 48% sem alterar sua composição de insumos. Estes referidos estados se assemelham em condições de proximidade geográfica, porém Roraima possui suas particularidades, além de ser menor em tamanho que o Amazonas,

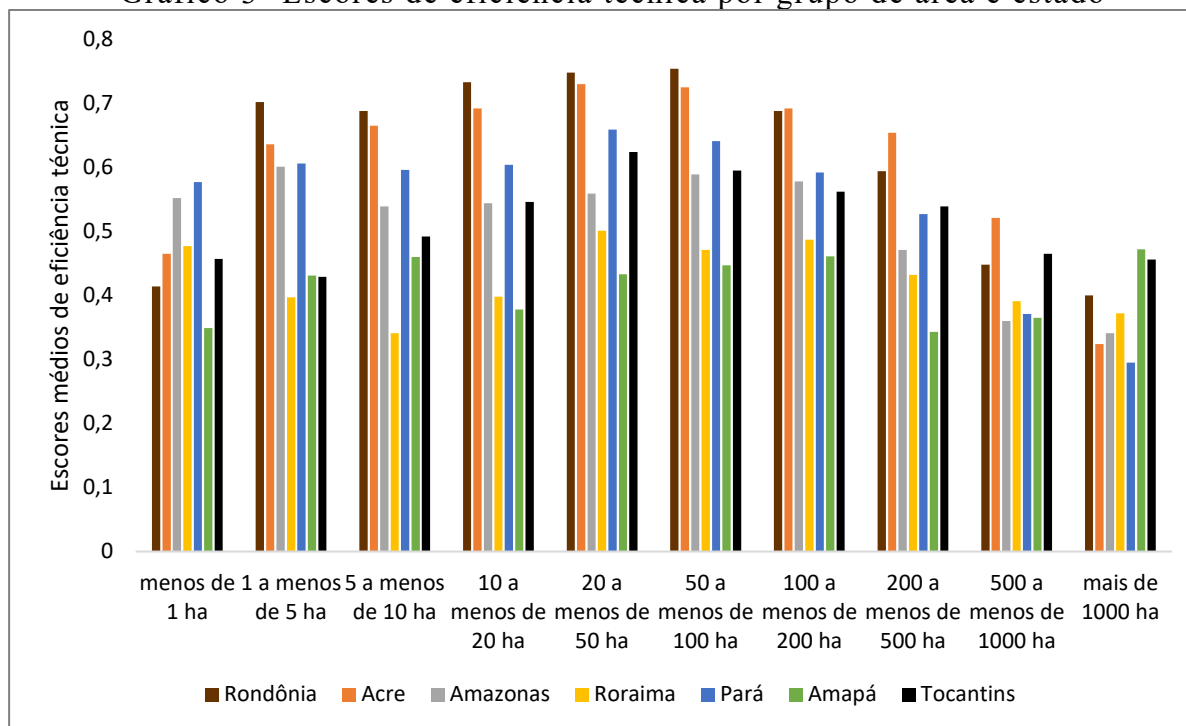
permanece durante muito tempo dentro da sua história, com uma parte da sua economia baseada no garimpo e a outra na agropecuária. Portanto, pode-se observar que o acúmulo de conhecimento provocado pela experiência auxilia na tomada de decisão do produtor em relação a sua forma de produzir, podendo provocar impactos positivos na sua eficiência técnica.

Considerando-se os estados do Amazonas e Roraima como os quartos mais tecnicamente eficiente da Região, o Pará ocupa a quinta colocação, dado que apresenta um escore médio de 42,6%. Este resultado também permite observar que este estado poderia elevar o seu desenvolvimento produtivo agropecuário, em mais da metade da sua capacidade atual sem precisar expandir seus meios de produção. Pode-se observar ainda, que a atividade econômica base do Pará se divide entre a mineração e a pecuária. Desta forma, o *modus operandi* da atividade agropecuária se moldará para beneficiar as necessidades de apenas uma parte desta atividade, reduzindo a capacidade de desenvolvimento produtivo da agropecuária como um todo, isto pode refletir nessa eficiência abaixo da metade da sua capacidade.

O Amapá apresentou, em média, como um estado produtivo, sendo o terceiro estado tecnicamente mais eficiente, contabilizou um escore médio de 55%, neste sentido, demonstrou que mais da metade do seu desenvolvimento produtivo é tecnicamente eficiente, exibindo ainda uma margem para expansão de 45% sua eficiência, sem a necessidade de alterar a composição dos meios de produção. Este é um resultado já esperado, pois assim como o Amazonas este estado desenvolve entre suas atividades econômicas básica o extrativismo mineral, que por sua vez apresenta estrutura e técnicas de produção semelhantes à atividade agropecuária.

O estado do Tocantins, apesar de não tão distante do percentual de Rondônia, apresentou-se como o menos eficiente do Norte, contando com um escore médio de 41,5% de eficiência técnica, dispondo-se então de uma capacidade de expansão da sua eficiência de aproximadamente 60%. Desta forma, o Estado exibe um resultado curioso, pois demonstra uma economia baseada na agropecuária e, ao mesmo tempo, atua com uma capacidade abaixo da metade da sua eficiência. Este cenário pode ser compreendido ao levar em consideração a relação entre tamanho e eficiência, na qual segundo a literatura os estabelecimentos com tamanhos médios são tecnicamente mais eficientes em relação aos pequenos e grandes estabelecimentos, neste sentido, este estado pode apresentar pouco número de médias propriedades declinando assim sua eficiência. No intuito de aprofundar essa discussão entre eficiência e tamanho, pode-se analisar o Gráfico 3.

Gráfico 3- Escores de eficiência técnica por grupo de área e estado



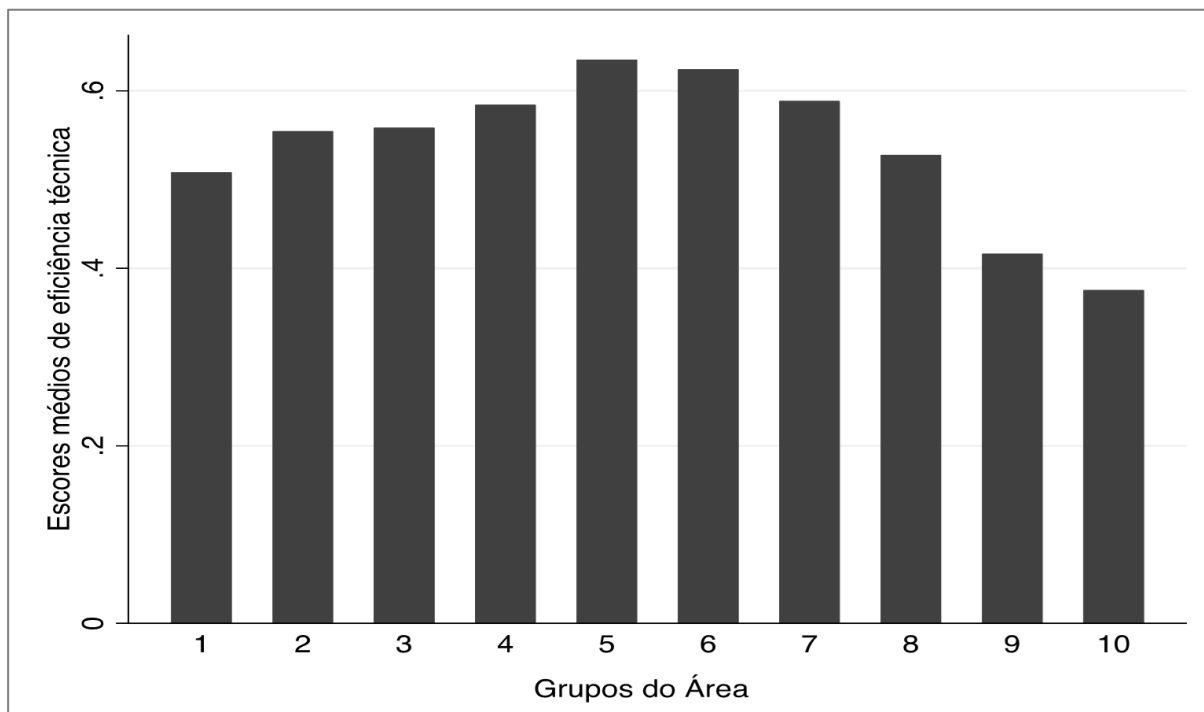
Fonte: Elaboração própria com resultados da pesquisa.

Observa-se, no gráfico acima, que a distribuição dos escores de eficiência foram divididos em grupos de áreas dentro de cada estado. De maneira geral, pode-se observar que a eficiência, quando plotada em relação ao tamanho dos estabelecimentos, comportou-se seguindo uma distribuição normal para quase todos os estados. Neste caso, os maiores picos de eficiência se manifestaram em estabelecimentos que medem entre 10 e menos de 200 hectares, portanto as propriedades médias são as mais eficientes tecnicamente. Deve-se ainda salientar que, neste caso, existe uma relação positiva entre o tamanho da propriedade e a eficiência, porém essa relação é não linear, isto é, elevando-se com o aumento da terra até um determinado ponto, a partir do qual passasse a declinar, assinalando o ganho de independência do produtor em relação ao fator terra.

Quanto a análise regional da eficiência, esta será desenvolvida com base no Gráfico 4, no qual representa o comportamento da distribuição dos escores de eficiência e o tamanho dos estabelecimentos agropecuários para a região Norte como um todo, diferentemente do Gráfico 3 que levava em consideração a distribuição da eficiência dentro dos grupos de áreas, separados por estado. O Gráfico 4 demonstra que a eficiência técnica para a região Norte segue, assim como na abordagem estadual, uma distribuição normal. Indicando que os estabelecimentos em tamanhos médios são os mais eficientes, mais especificamente as propriedades que possuem

entre 10 e menos de 200 hectares, localizados entre os grupos 4 e 7, que têm os escores mais elevados.

Gráfico 4- Eficiência técnica dos estabelecimentos agropecuários do Norte do país



Fonte: Elaboração própria com resultados da pesquisa.

Ademais, isto pode indicar que existe semelhanças nas quantidades de pequenas, médias e grandes propriedades na maioria dos estados, pois em caso de muita heterogeneidade nos estabelecimentos de estados em relação à sua composição de tamanho, teria então um efeito detectado pela diferença do comportamento entre os escores de eficiências regional e estadual, como por exemplo, o caso do Amapá, que apresenta distinção entre o comportamento da sua eficiência (Gráfico 3) em relação à eficiência de toda a Região (Gráfico 4).

5. Considerações Finais

Dada a centralidade da agropecuária na economia brasileira e a relevância ambiental da Região Norte, este estudo analisou a eficiência técnica dos estabelecimentos agropecuários do Norte do Brasil, buscando identificar margens de intensificação produtiva compatíveis com os limites ecológicos do bioma amazônico. Os resultados indicam que há espaço para elevar o valor bruto da produção (VBP) pela aproximação à fronteira tecnológica e gerencial, reduzindo a pressão por expansão de área.

A estimação da fronteira estocástica de produção (SFA) evidenciou o capital como o fator com maior elasticidade do VBP, seguido por trabalho e insumos, sugerindo que ganhos de produtividade na região estão fortemente associados à capacidade de investimento e à

incorporação de ativos produtivos. No componente de ineficiência, financiamento, irrigação e experiência mostraram os efeitos mais relevantes na redução das perdas de desempenho, reforçando a lógica de “produzir melhor” por meio de intensificação sustentável e organização produtiva.

Os achados também apontam heterogeneidade regional e por porte: Rondônia apresentou maior eficiência média e Tocantins a menor, enquanto estabelecimentos de médio porte tendem a utilizar recursos de forma mais eficiente. Em termos de política pública, os resultados sugerem priorizar instrumentos que ampliem o acesso ao crédito rural, à infraestrutura produtiva (como irrigação) e à difusão tecnológica, com desenho voltado à intensificação sustentável e à redução da conversão de novas áreas.

O estudo contribui para o debate sobre agropecuária e conservação da Amazônia ao demonstrar, a partir da primeira fronteira estocástica dos estabelecimentos agropecuários da região Norte, que há possibilidade aumento do VBP sem elevar o insumo terra. Como agenda, recomenda-se avançar na identificação do impacto causal do financiamento sobre a eficiência técnica (por porte e perfil produtivo) e atualizar a análise com os microdados do Censo Agropecuário 2017. Adicionalmente, estimar fronteiras separadas para agricultura e pecuária pode capturar especificidades tecnológicas e aprimorar o diagnóstico para orientar políticas e investimentos na Região Norte.

Referências

- ABDULAI, S.; NKEGBE, P. K.; DONKOH, S. A. Technical efficiency of maize production in Northern Ghana. *African Journal of Agricultural Research*, v. 8, n. 43, p. 5251–5259, 2013.
- AIGNER, D.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, v. 6, n. 1, p. 21–37, 1977.
- ALMEIDA, P. N. A. Fronteira de produção e eficiência técnica da agropecuária brasileira em 2006. 2012. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2012.
- ALVES, E.; SOUZA, G. S.; ROCHA, D. P. Lucratividade da agricultura. *Revista de Política Agrícola*, v. 1, n. 2, p. 45–63, 2012.
- ALVIM, A. M.; STÜLP, V. J. Eficiência técnica da produção agropecuária nas regiões do Rio Grande do Sul de 1975 a 2006. *Planejamento e Políticas Públicas*, v. 1, n. 43, 2014.
- AMORIM, A. L.; CORONEL, D. A.; TEIXEIRA, E. C. A agropecuária na economia brasileira: uma análise de insumo-produto. *Perspectiva Econômica*, São Leopoldo, v. 5, p. 1–19, 2009.
- BARBOSA, G. d. S.; COSTA, E. M.; ARAÚJO, J. A.; BARBOSA, G. S. Eficiência dos produtores frutícolas em Petrolina: uma análise de fronteira estocástica. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 49, n. 1, p. 133–148, 2018.

- BOJNEC, Š.; FERTŐ, I.; JÁMBOR, A.; TÓTH, J. Determinants of technical efficiency in agriculture in new EU member states from Central and Eastern Europe. *Acta Oeconomica*, v. 64, n. 2, p. 197–217, 2014.
- BUAINAIN, A. M.; ALVES, E.; SILVEIRA, J. M.; NAVARRO, Z. O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola. Brasília, DF: Embrapa, 2014.
- COELLI, T. J.; BATTESE, G. E. Identification of factors which influence the technical inefficiency of Indian farmers. *Australian Journal of Agricultural Economics*, v. 40, n. 2, p. 103–128, 1996.
- COELLI, T. J.; RAO, D. S. P. Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 countries, 1980–2000. Working Paper Series, Centre for Efficiency and Productivity Analysis, v. 1, n. 2, p. 1–31, 2003.
- COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. An introduction to efficiency and productivity analysis. New York: Springer, 1998.
- DEBREU, G. The coefficient of resource utilization. *Econometrica*, v. 19, n. 3, p. 273–292, 1951.
- FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, v. 120, n. 3, p. 253–290, 1957.
- FREIRE, A. H.; REIS, R. P.; LIMA, D. P. M.; FONTES, R. E. Eficiência econômica da cafeicultura no Sul de Minas Gerais: uma abordagem pela análise envoltória de dados. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, Lavras, v. 14, n. 1, p. 60–75, 2012.
- FREITAS, C. O.; TEIXEIRA, E. C. A agricultura familiar e comercial no Censo Agropecuário de 2006. *Políticas Públicas e Desenvolvimento: Suprema*, v. 1, n. 1, p. 374–406, 2011.
- FREITAS, C. O. D. Tamanho dos estabelecimentos e eficiência técnica na agropecuária brasileira. 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.
- GREENE, W. H. Maximum likelihood estimation of econometric frontier functions. *Journal of Econometrics*, v. 13, n. 1, p. 27–56, 1980.
- GREENE, W. H. A gamma-distributed stochastic frontier model. *Journal of Econometrics*, v. 46, n. 1–2, p. 141–163, 1990.
- HELFAND, S.; LEVINE, E. S. Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West. *Agricultural Economics*, v. 31, p. 241–249, 2004.
- HELFAND, S. M.; MAGALHÃES, M. M.; RADA, N. E. Brazil's agricultural total factor productivity growth by farm size. In: *Agricultural & Applied Economics Association Annual Meeting*, 2015, San Francisco, CA. Anais... San Francisco: AAEA, 2015.
- IBGE. Censo Agropecuário 2006: Agricultura Familiar. Primeiros resultados. Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Brasília/Rio de Janeiro: MDA/MPOG, 2009.
- JONDROW, J.; LOVELL, C. A. K.; MATEROV, I. S.; SCHMIDT, P. On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. *Journal of Econometrics*, v. 19, n. 2–3, p. 233–238, 1982.

- LOPES, B. M. G. Ecoeficiência na agropecuária: uma aplicação de análise envoltória de dados (DEA) nos municípios brasileiros da região Norte. 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronegócio, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasil fecha safra 2018/2019 com recorde de 242,1 milhões de toneladas de grãos. Brasília, 2019.
- MARIANO, J. L.; PINHEIRO, G. M. Eficiência técnica da agricultura familiar no Projeto de Irrigação do Baixo Açu (RN). *Revista Econômica do Nordeste*, v. 40, n. 2, p. 283–296, 2009.
- NUNES, E. D. S.; SOUSA, E. P. D.; DAMASCENO, N. P. Eficiência técnica da extração do pequi no Ceará. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 11, n. 3, p. 350–352, 2014.
- OYEWOL, O. Determinants of maize production among maize farmers in Ogbomoso South Local Government in Oyo State, Nigeria. *Agricultural Journal*, v. 4, n. 3, p. 144–149, 2009.
- PEREIRA, B. D.; MENDES, C. M. Eficiência técnica: arroz de sequeiro: Sorriso (MT). *Revista de Estudos Sociais*, v. 4, n. 8, p. 37–51, 2002.
- PEREIRA, C. N.; SILVEIRA, J. M. F. J. Análise exploratória da eficiência produtiva das usinas de cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 54, n. 1, p. 147–166, 2016.
- SANTOS, J. A. S.; ALMEIDA, P. N. A.; OLIVEIRA, I. J. Análise de eficiência técnica na produção de soja nas principais regiões produtoras brasileiras. In: Congresso da SOBER, 47., 2009, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SOBER, 2009.
- SEPULCRI, O.; PAULA, N. A evolução da agricultura e seus reflexos na EMATER. 2005. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.
- SILVA, J. de S.; FERREIRA, M. D. O.; LIMA, J. R. F. D. Eficiência técnica dos produtores de manga do Vale do São Francisco. *Revista de Economia e Agronegócio (REA)*, v. 15, n. 1, p. 28–49, 2017.
- SILVA, J. d. S.; FREITAS, C. O. d.; COSTA, L. V. Effects of pluriactivity of Brazilian rural establishments on technical efficiency. *Review of Agricultural Economics*, v. 73, n. 2, p. 147–169, 2018.
- SOARES, P. Determinantes da eficiência técnica da agricultura: um estudo para as culturas de milho e soja no Brasil. 2016. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2016.
- TUPY, O.; SHIROTA, R. Eficiência econômica na produção de frango de corte. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 28, n. 10, p. 25–40, 1998.
- VICENTE, J. R. Economic efficiency of agricultural production in Brazil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v. 42, n. 2, p. 201–222, 2004.
- VICENTE, J. R. Produtividade total de fatores e eficiência no setor de lavouras da agricultura brasileira. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 9, n. 3, p. 304–324, 2012.
- WU, Y.; HU, Y.; XIAO, X.; MAO, C. Efficiency assessment of wind farms in China using two-stage data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management*, v. 123, n. 1, p. 46–55, 2016.