

PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA E EFICIÊNCIA TÉCNICA NO NORDESTE BRASILEIRO:
UMA ANÁLISE DAS LAVOURAS TEMPORÁRIAS

Maria Jadenice de Santana Silva¹
José Ricardo de Santana²
Fábio Rodrigues de Moura³

RESUMO

Este estudo busca analisar o comportamento da eficiência técnica sobre a produtividade agrícola das lavouras temporárias no Nordeste do Brasil, a partir da investigação dos seus principais fatores determinantes, bem como de elementos que podem reduzir a ineficiência. Utiliza-se o modelo de fronteira estocástica de produção (SFA) e, alternativamente, o teste de verossimilhança mediante a forma funcional flexível do tipo translog para responder se as variáveis explicativas influenciam a eficiência da produção. Foram utilizados dados do Censo Agropecuário 2017. Os achados mostram que elementos como a precipitação contribuem para reduzir a ineficiência técnica média das lavouras temporárias, além de outros que podem ser objeto mais direto de políticas, como financiamento e tecnologia, que se mostraram relevantes para aumentos de produtividade. Constatou-se que os estados mais eficientes são Maranhão, Piauí e Bahia. Este estudo pode orientar produtores e formuladores de políticas a respeito de suas ações, visando à melhora do desempenho agrícola e ao crescimento econômico da região.

Palavras-chave: Eficiência Técnica. Fronteira Estocástica. Produtividade agrícola.

ABSTRACT

This study seeks to analyze the behavior of technical efficiency on the agricultural productivity of temporary crops in Northeast Brazil, based on the investigation of its main determining factors, as well as the elements that can reduce inefficiency. The stochastic production frontier model (SFA) is used and, alternatively, the likelihood test through the flexible functional form of the translog type to answer whether the explanatory variables influence production efficiency. Data from the 2017 Agricultural Census were used. The findings show that elements such as precipitation contribute to reducing the average technical inefficiency of temporary crops, in addition to others that may be a more direct object of policies, such as financing and technology, which are relevant to increases of productivity. It was found that the most efficient states are Maranhão, Piauí and Bahia. This study can guide producers and policy makers regarding their actions, aiming at improving agricultural performance and economic growth in the region.

Keywords: Technical Efficiency. Stochastic Frontier. Agricultural productivity.

Código JEL: Q12; Q16.

Área Temática 17: Desenvolvimento rural e local.

¹ Programa Acadêmico de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão (SE), Brasil. Email: jadenice.santana@gmail.com

² Programa Acadêmico de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão (SE), Brasil. Email: jrsantana.ufs@gmail.com

³ Programa Acadêmico de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão (SE), Brasil. Email: fabiromoura@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A agricultura tem sido protagonista na composição do PIB brasileiro, apesar das adversidades enfrentadas. O crescimento do setor agropecuário, em 2017, foi de 14,5%; resultado dos ganhos de produtividade agrícola, que tem mantido projeções positivas (MAPA, 2021). No Nordeste brasileiro, a agricultura apresenta também um papel relevante na economia regional, com destaque nacional na produção de lavouras temporárias, como cana de açúcar, fruticultura a mandioca e grãos. Entretanto a participação da produção agrícola nordestina no total do País ainda é baixa.

No caso da produção de grãos, por exemplo, o Centro-Oeste é a principal região produtora, com 46,2% da participação nacional, mas ocorreu no Nordeste o maior crescimento, de 15%, aumentando sua participação para 8,8% da produção nacional, em 2020. O bom desempenho pode ser atribuído a melhores condições de clima, com emprego de técnicas modernas de produção (ETENE, 2020).

O desempenho da agricultura no país, com ganhos de produtividade consideráveis, decorre de algumas políticas, como financiamento e desenvolvimento pesquisas, além da incorporação de novas práticas e equipamentos pelos produtores, com a modernização do setor. O aperfeiçoamento contínuo da qualidade e a ampliação da eficiência técnica, com a disseminação de novos conhecimentos e aparatos técnicos, geraram diversos resultados que contribuíram para o crescimento da produtividade. Como ilustração, vale mencionar que o aumento em 1% nos gastos com pesquisa desenvolvida pela Embrapa eleva em 0,2% o índice de produtividade (GASQUES; VIEIRA; NAVARRO, 2010).

No caso do Nordeste, historicamente, o processo de modernização da agricultura ocorreu de forma mais acentuada a partir da década de 1960, com o fortalecimento dos sistemas de financiamento fortemente subsidiados, estimulando a inserção de máquinas e insumos na produção rural que aumentassem a eficiência técnica (FURSTENAU, 1987). A principal finalidade era o aumento da produtividade, a redução dos custos e a diversificação da produção na região. Contudo, esse modelo de política gerou a concentração de renda em favor de médios e grandes produtores rurais, levando o pequeno estabelecimento agropecuário a ser marginalizado no acesso ao crédito rural oficial.

Mais recentemente, pode-se citar a criação do Pronaf em 1996 (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar) como uma política importante visando a atender o pequeno produtor rural, com estímulo à agropecuária familiar. Mas pouco se pesquisou sobre a eficiência produtiva dos pequenos agricultores brasileiros. Trata-se de uma linha de investigação importante, inclusive para as agências de fomento de crédito, a fim de que haja efetividade na aplicação do financiamento, uma vez que uma propriedade mais produtiva reduz as chances de inadimplência e possibilita o aumento da continuidade destas, resultando na promoção do desenvolvimento econômico.

Nessa perspectiva, estudar a eficiência técnica da agricultura no Nordeste, região onde predomina a pequena produção, é de fundamental importância. O estudo pode proporcionar indicações para uma melhor alocação de recursos produtivos na região, possibilitando ganhos de eficiência e de competitividade. Segundo Gasques *et al* (2004), melhorias tecnológicas e da empregabilidade são importantes fatores para determinar a eficiência da agricultura na economia. Apesar das vantagens viabilizadas pelo progresso técnico, ainda são percebidas discrepâncias na distribuição dos recursos financeiros e tecnológicos em favor dos setores agrícolas destinados ao comércio exterior.

Considerando isso, levanta-se a hipótese de que o aumento da eficiência técnica das lavouras temporárias pode impulsionar o desempenho da agricultura no Nordeste, gerando ganhos de produtividade e desenvolvimento agrícola da região. Esse é o tema de interesse do estudo. O objetivo é analisar o desempenho da eficiência técnica agrícola nordestina nas lavouras temporárias, visando a identificar os seus principais fatores determinantes, bem como os elementos que podem reduzir a ineficiência.

O trabalho está organizado em cinco seções incluindo a introdução. A segunda apresenta uma visão geral do tema abordado, oferecendo uma introdução ao contexto da produtividade agrícola e eficiência técnica. A terceira seção descreve a metodologia adotada para estimar a eficiência técnica na agricultura, detalhando as técnicas, modelos e métodos utilizados. A quarta seção reúne os resultados alcançados, abordando os principais fatores determinantes da eficiência e os elementos que podem reduzir a ineficiência, além de apresentar resultados da eficiência em termos espaciais. Por fim, na quinta seção, são apresentadas as considerações finais.

2. DISCUSSÃO SOBRE PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA TÉCNICA NO NORDESTE

Nesta seção abordam-se elementos relacionados à produtividade da agricultura no Nordeste, a partir de estudos empíricos relacionados ao tema da eficiência.

Compreendendo baixos níveis produtivos, apesar de diversificadas tecnologias disponíveis, parte considerável da região é formada por pequenos produtores, que se dedicam à agricultura de subsistência e não possuem estímulos capazes de fornecer apoio à comercialização, assistência técnica, transporte e comunicação, inviabilizando assim a potencialização da capacidade produtiva e da produção agrícola, onde estados e municípios estão inseridos (ARAÚJO; ARAUJO, 2016).

A produtividade agrícola tem papel fundamental no tocante à propagação do crescimento econômico, bem-estar, distribuição de renda e redução da pobreza. Ao introduzir inovações nos sistemas de produção, ocorrem mudanças que são capazes de induzir o aumento da produtividade na agricultura, possibilitando seu maior e melhor desempenho diante das adversidades (SOUZA *et al.*, 2020).

Nesse contexto, é de grande importância explorar os fatores e mecanismos influenciadores da eficiência técnica na agricultura, objetivando melhorar o desempenho do setor. O progresso tecnológico promovido por altos índices de investimentos, por exemplo, pode promover a eficiência técnica no campo por meio dos programas de incentivo ao transporte, à mecanização dos fatores de produção, à assistência técnica, além do nível de escolaridade que aperfeiçoa o capital humano, entre outros, gerando produtores mais hábeis na empregabilidade e manejo de novas tecnologias agrícolas (FREITAS, 2014).

As disparidades no processo de desenvolvimento entre as regiões brasileiras despertam atenção, sobretudo ao atraso em que ainda se encontra a região Nordeste. No entanto essa heterogeneidade não se dá apenas entre as regiões, visto que também há desenvolvimento intrarregional. A identificação de variáveis que explicam as diferenças de eficiência torna-se essencial à formulação de alternativas que visam à melhoria da eficiência produtiva como um todo. Dessa maneira, autores buscaram explicar as possibilidades de aumento da produtividade por meio da análise de eficiência, uma vez que o aumento da produtividade está diretamente associado à alocação dos fatores de produção.

Santos (2002) procurou analisar o setor agropecuário do Nordeste, utilizando dados procedentes do Censo Agropecuário 1995/1996 e do Censo Demográfico 2000. Por meio das medidas de eficiência técnica e de escala, buscou identificar os condicionantes das diferenças de eficiência entre as áreas em estudo. O autor emprega a Análise Envoltória de Dados (DEA) para discriminar as áreas em eficientes e ineficientes e, com isso, foi constatado que a inserção de insumos tecnológicos além de técnicas de manejo do solo contribui para melhores níveis de produção e produtividade agrícola.

Luna *et al.* (2021) investigaram a produtividade agropecuária de 115 estabelecimentos do Ceará, visando identificar como o aumento dessa produtividade está diretamente associado à alocação dos fatores de produção. Para isso, os autores utilizaram dados secundários e compilados do Censo Agropecuário 2017 e, como instrumento de análise, adotaram o modelo de fronteira de produção estocástica em sua forma funcional Cobb-Douglas, admitindo ineficiência técnica. Com base nos resultados, os autores concluíram que os municípios cearenses apresentam baixa eficiência técnica e forte heterogeneidade tecnológica.

Concomitantemente, Souza, Campos e Chaves (2020), por via da análise envoltória de dados, concluíram que houve um aumento na eficiência do uso dos fatores de produção agrícola das mesorregiões cearenses de 2008 a 2012. Por meio do cálculo do Índice de Malmquist, verificou-se que os maiores ganhos de variação técnica e tecnológica ocorreram nos anos de 2010 e 2011. Verificou-se também que as maiores perdas dessas variações ocorreram no ano de 2009.

Já, Mariano e Pinheiro (2009) buscaram identificar as fontes da ineficiência técnica da agricultura familiar no Projeto de Irrigação do Baixo Açu - RN. Para isso, usaram os modelos de análise envoltória de dados (DEA-C, DEA-V), e o modelo Free Disposal Hull (FDH). Chegaram à conclusão que a eficiência dos agricultores é baixa, com a suposição de que, com retornos constantes de escala, apenas 6,7% foram eficientes; 24% com retornos variáveis de escala; e 54,7% com livre descarte de recursos.

Silva *et al.* (2019) relatam as diferenças tecnológicas da produção agropecuária entre os municípios situados no semiárido e no não semiárido do Nordeste brasileiro. O modelo adotado foi o de meta-fronteira tecnológica, proposta por Battese, Rao e O'Donnell (2004) (2004) e O'Donnell *et al.* (2008). Os autores concluíram que, quando comparadas as duas regiões, o não semiárido possui a maior eficiência técnica média com referência à metafronteira. Os resultados baseiam-se nos censos agropecuários do IBGE de 1975 a 2006.

Araújo e Mancal (2015) analisam o crescimento da agricultura na Região Nordeste do Brasil, no período de 1970 a 2006, utilizando um modelo de fronteira estocástica para decompor a produtividade total dos fatores (PTF) do setor para cada estado. Os autores determinam então o índice de produtividade total dos fatores (PTF) de Malmquist, o qual é decomposto nos índices de variação de eficiência e variação tecnológica. As conclusões indicam que nos estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte e Alagoas, as variações tecnológicas tiveram maior influência que as variações na eficiência técnica no aumento da produtividade. Isso mostra a necessidade de se priorizar o capital humano, enquanto o Piauí apresentou comportamento contrário, tendo maior influência o componente de eficiência técnica. De modo geral, a região Nordeste obteve ganhos de produtividade total dos fatores no período.

Nessa mesma linha, Gomes, Alcantara Filho e Scalco (2009) analisam as mudanças ocorridas na agropecuária do Nordeste brasileiro, identificando as fontes de alterações na produtividade total dos fatores. Utilizam dados de 187 microrregiões nordestinas, de 1996 e 2006. As mudanças na produtividade total dos fatores foram mensuradas pelo índice de Malmquist, o qual pôde ser decomposto em mudanças na eficiência técnica e tecnológica. Os autores verificaram que 52% das microrregiões nordestinas apresentaram ganhos na produtividade dos fatores. Nas regiões onde ocorreu redução na produtividade, houve perda considerável de eficiência, uma vez que em todas elas, houve progresso tecnológico.

Barros *et al.* (2017) analisaram a eficiência técnica entre os produtores do Polo Petrolina-Juazeiro, com auxílio do método DEA e com retorno variável de escala (DEA-V), submetidos a uma estimação Tobit. Os resultados apresentados demonstraram que características como tecnologia, porte do produtor e experiência tendem a elevar os níveis de eficiência, enquanto idade e diversificação produtiva tendem a reduzir tais escores.

Em suma, os trabalhos buscam avaliar empiricamente o impacto da empregabilidade de fatores técnicos capazes de elevar a produção e conseqüentemente a produtividade. Os resultados mostram o aumento da produtividade, quando se insere tecnologia, por meio de ganhos de eficiência no setor.

3. METODOLOGIA

Nesta seção são expostos o método paramétrico embasado pela fronteira estocástica de produção (SFA) e os elementos utilizados para a montagem da base de dados da pesquisa.

3.1 Mensuração de Eficiência e Fronteira Estocástica de Produção

O processo produtivo pode ser representado em termos de uma função de produção, em que cada nível de produto está associado a diferentes combinações de insumos. A fronteira de produção indica a máxima quantidade de produto que pode ser obtida a partir de uma dada quantidade de insumos a partir das tecnologias disponíveis (ZANINI, 2004). Desse modo, a função de produção representa o conjunto de combinações de produtos para as quais a economia atinge a eficiência.

Um produtor possui eficiência técnica (ET) quando consegue alcançar o produto ótimo, dada uma certa quantidade de insumos. Para se obter eficiência econômica, o produtor deve ser tecnicamente eficiente e empregar insumos menos onerosos, isto é, ter eficiência alocativa (EA). Quando o produto ótimo é definido em termos da fronteira de custo, sujeito às restrições de quantidades e de preços, a eficiência em questão é a eficiência alocativa (EA) (PINTO, 2013).

As fronteiras são referências que possibilitam classificar os produtores comparando seus desempenhos, almejando a eficiência econômica (KUMBHAKAR; LOVELL, 2000). Para se mensurar a eficiência por meio das fronteiras de produção, há duas abordagens consolidadas na literatura: a não paramétrica, representada pela Análise Envoltória de Dados (DEA), e a paramétrica, que é a análise de fronteira estocástica (SFA). No caso da DEA, que é um método de programação linear não paramétrico, são ignoradas as perturbações aleatórias do processo produtivo. Ou seja, está sujeito a incertezas nos dados devido a erros de medição ou previsão, gerando resultados potencialmente não confiáveis (COELLI *et al.*, 1998). Ademais, a DEA não estima o impacto da perturbação aleatória nas atividades de produção e apresenta viés de estimativa na medição da eficiência técnica (YIN; WU, 2021).

Já no modelo de fronteira estocástica (SFA), consideram-se os impactos de perturbações aleatórias nas atividades de produção, isto é, o método admite eventos aleatórios e indeterminados (BIAGE, 2012). O modelo determinístico de fronteira de produção é representado pela equação

$$y_i = f(\mathbf{x}_i; \boldsymbol{\beta}) \exp(-u_i), \quad i = 1, \dots, I, \quad u_i \geq 0, \quad (1)$$

em que y_i representa a produção da i -ésima unidades tomadora de decisão (UTD), \mathbf{x}_i é um vetor $K \times 1$ contendo as entradas ou insumos, $\boldsymbol{\beta}$ é um vetor de parâmetros desconhecidos que captura a tecnologia de produção e u_i é uma variável aleatória associada à ineficiência técnica orientada ao produto, que segue uma distribuição não negativa com ponto de truncamento em zero; em geral, admite-se que u_i segue uma distribuição meio-normal, normal truncada ou exponencial. A fronteira de produção expressa pela equação (1) é determinística, na medida em que y_i é limitada pela quantidade não estocástica $f(\mathbf{x}_i; \boldsymbol{\beta})$. Assim, todos os desvios da fronteira de eficiência são considerados sob o controle da UTD e denominados de ineficiência, ou seja, são atribuídos aos produtores tecnicamente ineficientes.

Aigner et al. (1977) propuseram o modelo de fronteira de produção estocástica:

$$\begin{aligned} y_i &= f(\mathbf{x}_i; \boldsymbol{\beta}) \exp(e_i), \\ e_i &= v_i - u_i, \end{aligned} \quad (2)$$

em que $v_i \sim N(0, \sigma_v^2)$ é o termo de erro e $u_i \sim N^+(\mu, \sigma_u^2)$ é o termo de ineficiência técnica. A função de fronteira estocástica (2) incorpora um novo componente, o erro aleatório simétrico v_i , e em conjunto com u_i são denominados como o termo de erro composto e_i . Pelo fato de v_i e u_i serem geralmente admitidas como variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.), a ineficiência média presente na distribuição é refletida na assimetria de e_i .

Wang (2002) propõe alternativamente modelar a média e a variância do termo de ineficiência técnica a partir de um conjunto de regressores exógenos:

$$u_i \sim N^+(\mu_i, \sigma_{ui}^2), \quad \mu_i = \mathbf{z}_i' \boldsymbol{\delta}, \quad \sigma_{ui}^2 = \exp(\mathbf{z}_i' \boldsymbol{\gamma}) \quad (3)$$

em que \mathbf{z}_i é um vetor de covariáveis que explicam a média de u_i , $\boldsymbol{\delta}$ é um vetor de coeficientes que captura os efeitos de ineficiência e $\boldsymbol{\gamma}$ identifica os efeitos sobre a incerteza do processo produtivo sujeito à ineficiência. Ao parametrizar tanto a média como a variância de u_i utilizando-se do mesmo vetor de variáveis exógenas, Wang (2002) demonstra que é possível identificar efeitos não monotônicos dos regressores exógenos sobre a ineficiência. Isso permite estimar, por exemplo, eventuais efeitos decrescentes das variáveis selecionadas sobre a ineficiência, ou o intervalo em que o efeito sobre a redução da ineficiência atinge seu ponto ótimo (e.g., tamanho ótimo da propriedade, nível ótimo de financiamento).

Admitindo-se que $f(\mathbf{x}_i; \boldsymbol{\beta})$ segue uma especificação translog:

$$\ln(y_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \ln(x_{ji}) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \beta_{jh} \ln(x_{ji}) \ln(x_{hi}) + v_i - u_i, \quad (4)$$

Nessa função, o desvio entre o logaritmo do nível de produção y_i e a parte determinística da fronteira de produção é dado pela combinação de dois componentes v_i e u_i . A especificação como função de produção translog permite modelar estruturas de produção mais complexas em relação a Cobb-Douglas e possibilita empregar múltiplos produtos sem violar as propriedades de convexidade. Além disso, a funções translog é considerada flexível, por não impor qualquer restrição aos valores de substituição nem pressupor homogeneidade.

Ao mesmo tempo, apesar de permitir maior flexibilidade, pode haver problemas de multicolinearidade quando vários regressores são incluídos no modelo. Os parâmetros do modelo (4) podem ser estimados por máxima verossimilhança (ML), e em geral utiliza-se como critério de decisão entre a forma funcional translog e a Cobb-Douglas o teste de razão de verossimilhança (teste LR).

Lovell (1993) considera que o grau de eficiência técnica de um produtor é dado pela razão entre o nível de produto observado e o produto correspondente na fronteira estocástica de produção. Admitindo-se linearidade no logaritmo de y_i , a função de máxima produção esperada para o nível de insumos \mathbf{x}_i situado sobre a fronteira é dado por:

$$\hat{y}_i = \exp(\mathbf{x}_i \boldsymbol{\beta}). \quad (5)$$

A produção (não observada) para a observação i , caso a UTD opere em eficiência técnica, ou seja, na fronteira, é dada por:

$$\hat{y}_i^* = \exp(\mathbf{x}_i \boldsymbol{\beta} + v_i). \quad (6)$$

O choque (ou ruído), por sua vez, é dado pela diferença entre o logaritmo do produto não observado (6) e o logaritmo da máxima produção esperada (5). A presença de ruídos representa a omissão de variáveis relevantes do vetor \mathbf{x}_i , bem como erros de medição e erros de aproximação associados à escolha da forma funcional.

Para estimar a eficiência técnica de cada UTD (ET_i), calcula-se a razão entre a produção observada (y_i) e o produto potencial de fronteira (y_i^*), utilizando-se a expectativa de u_i condicionada ao erro composto e_i (KUMBHAKAR; LOVELL, 2000). Um estimador bastante utilizado para o score de ineficiência ET_i é o proposto por Battese e Coelli (1988):

$$ET_i = \frac{y_i}{\hat{y}_i^*} = \frac{\exp(\mathbf{x}_i \boldsymbol{\beta} + v_i) \mathbb{E}[\exp(-u_i) | e_i]}{\exp(\mathbf{x}_i \boldsymbol{\beta} + v_i)} = \mathbb{E}[\exp(-u_i) | e_i], \quad (7)$$

Na equação (7), tem-se que $0 \leq ET_i \leq 1$. Quando o produtor consegue aumentar sua produção empregando a mesma quantidade de insumos, o valor de produção que é perdido devido à ineficiência técnica tende a zero, o que significa que a UTD é tecnicamente eficiente e ET_i tende a 1. Por outro lado, um valor próximo de 0 implica estar próximo da máxima ineficiência.

Em geral, para a UTD ser considerada como tecnicamente eficiente, a produção deve estar na fronteira de produção estocástica. Sendo assim, o produto não observado tende a ser distribuído uniformemente acima e abaixo da porção determinística da fronteira, e o produto observado tende a situar-se abaixo da parte determinística da fronteira. O produto observado só pode estar acima da parte determinística da fronteira quando o efeito do ruído é positivo e maior que o efeito da ineficiência (KUMBHAKAR, 2015).

3.2 Especificação do modelo

O modelo proposto considera uma função translog para estimar a eficiência da produção de culturas temporárias nos municípios do Nordeste (Unidades Tomadoras de Decisão), condicionado a um conjunto de fatores que afetam a ineficiência técnica. Propõe-se a seguinte especificação translog:

$$\begin{aligned} \ln(\text{Prod}_i) = & \beta_0 + \beta_1 \ln \text{Trabalho}_i + \beta_2 \ln \text{Capital}_i + \beta_3 \ln \text{Terra}_i + \beta_4 \ln \text{Outros}_i \\ & + \beta_5 \ln^2 \text{Trabalho}_i + \beta_6 \ln^2 \text{Capital}_i + \beta_7 \ln^2 \text{Terra}_i + \beta_8 \ln^2 \text{Outros}_i \\ & + \beta_9 \ln \text{Trabalho}_i \times \ln \text{Capital}_i + \beta_{10} \ln \text{Trabalho}_i \times \ln \text{Terra}_i \\ & + \beta_{11} \ln \text{Trabalho}_i \times \ln \text{Outros}_i + \beta_{12} \ln \text{Capital}_i \times \ln \text{Terra}_i \\ & + \beta_{13} \ln \text{Capital}_i \times \ln \text{Outros}_i + \beta_{14} \ln \text{Terra}_i \times \ln \text{Outros}_i + d_m + v_i - u_i, \end{aligned} \quad (8)$$

em que Prod_i é a produção de culturas temporárias no município i , Terra_i , Capital_i e Trabalho_i são os insumos usuais de produção, Outros_i capta insumos adicionais relevantes para o processo produtivo, d_m são dummies que controlam efeitos fixos de microrregião, u_i é o termo de ineficiência e v_i é o choque não observado.

Para modelar diretamente a ineficiência técnica, assume-se que o termo de ineficiência segue uma distribuição normal truncada em zero, com média $\mathbf{z}'\boldsymbol{\delta}$ e variância $\sigma_u^2 = \exp(\mathbf{z}'\boldsymbol{\gamma})$. O vetor \mathbf{z} é composto por covariáveis que influenciam diretamente a distribuição do termo de ineficiência. Neste estudo, admitimos que o vetor \mathbf{z} é composto por cinco fatores que afetam a ineficiência técnica de produção:

$$u_i = \delta_1 \text{Tecnologia} + \delta_2 \text{Treinamento} + \delta_3 \text{Financiamento} + \delta_4 \text{Clima} + \delta_5 \text{Aglomeração} + \omega_i \quad (9)$$

Essas dimensões foram pensadas de forma que *Tecnologia* representa os estabelecimentos que possuem irrigação; *Treinamento* corresponde às propriedades que obtiveram orientação técnica; *Financiamento* diz respeito as UTD com acesso ao crédito agrícola; a dimensão *Clima* refere-se a dados de temperatura e precipitação; e *Aglomeração* é o número de estabelecimentos com produção de lavouras temporárias no município. O erro aleatório ω_i é definido pelo truncamento da distribuição normal, com média zero e variância σ^2 , sendo truncado no ponto $-\mathbf{z}'\boldsymbol{\delta}$, isto é, $\omega_i \geq -\mathbf{z}'\boldsymbol{\delta}$. A fim de captar possíveis efeitos não lineares sobre a ineficiência, a variância do termo u_i também será modelada utilizando-se os mesmos fatores selecionados. Essa suposição é consistente com u_i , sendo, por hipótese, um truncamento não negativo com distribuição $N(\mathbf{z}'\boldsymbol{\delta}, \sigma_u^2)$.

Espera-se então que: i) um maior acesso à tecnologia diminua a ineficiência, ii) mais acesso a treinamento diminua a ineficiência, dado que produtores mais hábeis proporcionam melhores resultados na produção, iii) uma ampliação do financiamento reduza a ineficiência iv) condições climáticas mais favoráveis reduzam a ineficiência; e v) uma região com mais aglomeração de unidades produtivas possa facilitar a transferência de informações entre elas, ou favorecer a competição local, possivelmente reduzindo a ineficiência local, embora esse efeito possa ser ambíguo se, mesmo em locais com muitas unidades produtivas, poucas delas concentrarem a maior parte dos insumos de melhor qualidade, em detrimento das demais.

3.3 Base de dados

Para a estimação da fronteira estocástica de produção foram utilizados dados públicos do Censo Agropecuário 2017 para os municípios nordestinos, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para a construção da variável resposta, foi utilizado a razão entre o valor da produção das culturas temporárias no município e o número de unidades produtivas de lavouras temporárias do mesmo município.⁴ Com base nessa normalização, o município atua como a “fazenda representativa”, sendo nossa Unidade Tomadora de Decisão.

Para a variável Terra, foi considerado a soma da área utilizada no plantio de lavouras temporárias no município. O insumo trabalho é medido pelo agregado de mão de obra ocupada em lavouras temporárias. A variável Capital é dada pelo total de tratores, máquinas e implementos agrícolas utilizados nas lavouras temporárias do município. A variável Outros é composta pelas despesas totais com sementes, adubos, agrotóxicos e energia elétrica. As variáveis Terra, Trabalho, Capital e Outros também foram normalizadas pelo número de unidades produtivas de lavouras temporárias de cada município.

Como proxy para o fator Tecnologia sobre ineficiência técnica foi utilizado a proporção de unidades produtivas de lavouras temporárias com o uso de irrigação. O fator Financiamento foi representado pela proporção de unidades produtivas de lavouras temporárias que obtiveram algum tipo de financiamento do seu processo produtivo, incluindo crédito rural via instituições financeiras públicas ou privadas, cooperativas de crédito, fornecedores e comerciantes, ONG, entre outros.

Como proxy para o fator Treinamento foi utilizado a proporção de unidades produtivas de lavouras temporárias que receberam algum tipo de orientação técnica, seja via instituições governamentais, cooperativas, empresas privadas, ONG, Sistema S, de iniciativa própria do produtor, entre outras. Para o fator Aglomeração foi utilizado o logaritmo do total de unidades produtivas de lavouras temporárias no município. Para o fator Clima, foi utilizado o logaritmo da média de 20 anos da precipitação total anual para cada município, bem como o logaritmo da média de 20 anos da temperatura média anual de cada município, ambas calculadas no período 1997-2016.

As proxies para os fatores Tecnologia, Financiamento, Treinamento e Aglomeração foram obtidas por meio dos dados públicos do Censo Agropecuário 2017 para os municípios nordestinos. Para a construção das variáveis climáticas, foram utilizados os dados de satélite disponibilizados pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo (ECMWF, 2023). O Quadro 1 apresenta as variáveis selecionadas.⁵

⁴ As culturas temporárias selecionadas foram: sorgo granífero, cebola, alho, tomate, batata-doce, batata-inglesa, algodão herbáceo, cana-de-açúcar, aveia branca em grão, amendoim, melancia, linho, arroz, feijão em geral, centeio em grão, melão, fumo, cevada em casca, milho, mamona, colza (canola), mandioca, fava, ervilha em grão, abóbora, moranga, jerimum, abacaxi, malva, gergelim, juta, triticale, soja, trigo em grão/preto, sementes, sorgo vassoura, rami, forrageiras, girassol, mamona e outros produtos.

⁵ Devido à natureza pública dos dados do Censo Agropecuário, diversas observações têm seus valores inibidos (faltantes) para não identificar o informante. Nas lavouras temporárias, a variável Capital é a que apresenta a maior quantidade de dados faltantes: do total de 1793 municípios, há 589 com dados faltantes para o ano de 2017. Há 461 municípios com resultado zero para Capital. Devido à natureza logarítmica da fronteira estocástica, isso resulta numa perda potencial de 1050 Unidades Tomadoras de Decisão (58,56% dos municípios) devido à variável Capital. A fim de reduzir o viés de dados faltantes, decidiu-se por imputar aos municípios com observações inibidas da variável Capital a média do número de máquinas, tratores e implementos agrícolas empregados na produção de culturas temporárias da microrregião a qual o município pertence. Em seguida, foi calculada a razão entre esse resultado e o número de unidades de produção de lavouras temporárias do respectivo município. Após a imputação, verificou-se a presença de 554 municípios com resultado zero para a variável Capital, que são excluídos da amostra. Ademais, optou-se por não imputar os valores inibidos da variável resposta, que totalizam 87 municípios. Isso resulta em 1152

Quadro 1: Variáveis utilizadas para mensurar a eficiência

Variáveis	Descrição	Fonte
Variável resposta		
Prod	Razão entre o valor da produção das lavouras temporárias, em R\$ mil, e o número de unidades de produção de lavouras temporárias.	IBGE
Insumos		
Trabalho	Razão entre o pessoal ocupado na produção de culturas temporárias e o número de unidades de produção de lavouras temporárias.	IBGE
Capital	Razão entre o número de máquinas, tratores e implementos agrícolas empregados na produção de culturas temporárias e o número de unidades de produção de lavouras temporárias.	IBGE
Terra	Razão entre a área total utilizada na produção de culturas temporárias em hectares, e o número de unidades de produção de lavouras temporárias.	IBGE
Outros	Razão entre as despesas totais com outros insumos (sementes, adubos, agrotóxicos, energia elétrica), em R\$ mil, e o número de unidades de produção de lavouras temporárias.	IBGE
Fatores de Influência da Ineficiência Técnica		
Tecnologia: Irrigação	Proporção de unidades produtivas de lavouras temporárias com o uso de irrigação.	IBGE
Treinamento: Orientação	Proporção de unidades produtivas de lavouras temporárias que receberam algum tipo de orientação técnica.	IBGE
Financiamento: Crédito	Proporção de unidades produtivas de lavouras temporárias que obtiveram algum tipo de financiamento.	IBGE
Aglomeração: Unidades	Total de unidades produtivas de lavouras temporárias.	IBGE
Clima: Precipitação	Média de 20 anos da precipitação total anual do município.	ECMWF
Clima: Temperatura	Média de 20 anos da temperatura média anual do município.	ECMWF

Fonte: Elaborado pelos autores.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente, são apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis. Na segunda parte da seção, examinam-se as estimativas da fronteira estocástica de produção, identificando fatores que influenciam a eficiência técnica produtiva das lavouras temporárias nos municípios do Nordeste. Na terceira parte, analisa-se a distribuição de cada fator que influencia a ineficiência da produção das unidades produtoras nos municípios. Por fim, apresenta-se uma análise espacial da eficiência da produção no Nordeste.

4.1 Estatísticas descritivas das variáveis

A Tabela 1 traz as estatísticas descritivas das variáveis selecionadas. A análise da variável de produção de culturas temporárias, apresenta uma média de R\$ 71,7 mil reais por hectare, com uma grande assimetria, dado que a mediana da produção foi de R\$ 4,37 mil. Esses estabelecimentos ocupam em média quatro pessoas, demonstrando uma baixa utilização do fator trabalho. Em relação às máquinas, tratores e implementos agrícolas, registra-se uma baixa utilização, de menos de 0,2 unidades de capital em média.

No que se refere aos fenômenos climáticos, observam-se temperaturas elevadas, com a média anual variando entre 20°C e 28°C. As chuvas se mostram escassas, com média anual de 889 mm, que configura a rigidez climática da seca, além de serem mal distribuídas entre os municípios.

municípios nordestinos efetivamente disponíveis para a análise de eficiência técnica da produção de culturas temporárias via fronteira estocástica de produção.

Tabela 1: Região Nordeste - Estatísticas Descritivas, (Censo Agropecuário 2017)

Variáveis	N	Média	Mediana	Desvio-padrão	Min	Max
Produção (R\$ mil)	1152	71,728	4,368	403,142	0,2312	7.411
Trabalho (und)	1152	4,439	3,035	10,927	1,154	244,250
Capital (und)	1152	0,1839	0,0351	0,7474	0,0004	13,074
Terra (ha)	1152	18,297	1,991	94,054	0,2073	1.599,379
Outros (R\$ mil)	1152	28,429	1,439	178,458	0,0576	3.649,438
Tecnologia (und)	1152	0,1024	0,0458	0,1512	0	0,9907
Treinamento (und)	1152	0,0750	0,0451	0,0896	0	0,7078
Financiamento (R\$ mil)	1152	0,1058	0,0944	0,0666	0	0,4333
Precipitação (mm)	1152	899,753	821,761	287,387	411,637	1.942,109
Temperatura (°C)	1152	25,221	25,189	1,296	20,480	28,136
Aglomeracão (und)	1152	609,526	421	606,655	4	4310

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa.

A respeito das variáveis que podem ocasionar ganhos de eficiência na matriz de produção, Tecnologia, Treinamento e Financiamento devem ser analisados. No quesito Tecnologia, em média apenas 10,2% das unidades produtivas possuem sistemas de irrigação. Em Treinamento, somente cerca de 7,5% dos estabelecimentos receberam orientação. E no quesito Financiamento, apenas cerca de 10,6% dos estabelecimentos conseguiram acesso a esses recursos.

4.2 Fatores que influenciam a eficiência técnica de produção

A Tabela 2 apresenta os resultados da estimação do modelo de fronteira de produção estocástica, em uma função translog, com coeficientes extras. O Teste LR para decisão entre translog ou Cobb-Douglas resultou em: $\text{Chi}^2(10) = 68.62$ (p-valor ≈ 0), rejeitando-se a função Cobb-Douglas. Já o teste da razão Verossimilhança rejeita a hipótese nula $H_0 = 0$ de aninhamento das funções, ou seja, os coeficientes extras da função translog são conjuntamente significativos e trazem informações adicionais ao modelo.

Na estimação da translog, tomando como base as elasticidades da função, os resultados se mostram significativos para o fator Terra e para o fator Capital, embora este apareça como menos relevante que a variável que representa outros fatores, relacionados às despesas totais com insumos. Isso possivelmente se deve ao fato de que há uma utilização da capital muito pequena na média das unidades produtivas na região.

Já em relação à elasticidade do fator Trabalho, os resultados apontam uma não significância do estimador. Uma das principais causas desse resultado está associada à baixa incidência do Capital relativamente ao Trabalho na distribuição dos municípios nordestinos. Apesar de o coeficiente cruzado entre Capital e Trabalho ser positivo e significativo, o baixo nível médio no uso de capital e na razão capital-trabalho no Nordeste⁶ efetivamente reduz a elasticidade do trabalho, ampliando a incerteza do seu efeito na produção. Os demais fatores de produção são significativos, com sinal conforme o esperado.

⁶ Com exceção em regiões com produção de culturas de uso intenso de maquinário agrícola, como na região do MATOPIBA, por exemplo, em que o capital médio por unidade de produção é de 0.54 e a razão média capital-trabalho é de 0.11, enquanto no resto do Nordeste o capital médio é de 0.12 e razão média capital-trabalho é de 0.024. Em termos de culturas específicas intensivas em capital, destaca-se a soja, que tem uma presença importante na região Nordeste, com saídas da Bahia e do Piauí. Trata-se de uma cultura considerada intensiva, devido ao uso de maquinário agrícola moderno, sementes geneticamente modificadas e fertilizantes, além de técnicas avançadas de plantio e manejo.

Tabela 2: Estimativas da Fronteira Estocástica

Variáveis	Coefficientes Translog	Elasticidades Translog	Coefficientes Cobb-Douglas
Trabalho	.3879** (.189)	.0946 (.085)	.1125*** (.038)
Capital	.0566 (.056)	.0703*** (.021)	.0511*** (.016)
Terra	.7079*** (.105)	.5711*** (.040)	.6894*** (.027)
Outros	.2392*** (.094)	.2969*** (.027)	.2613*** (.022)
Trabalho×Trabalho	.0631 (.053)		
Capital×Capital	.0084 (.005)		
Terra×Terra	.1260*** (.021)		
Outros×Outros	-.0053 (.015)		
Trabalho×Capital	.0677** (.033)		
Trabalho×Terra	-.2517*** (.051)		
Trabalho×Outros	.1199** (.049)		
Capital×Terra	-.0378* (.020)		
Capital×Outros	-.0031 (.016)		
Terra×Outros	-.0917*** (.029)		
Constante	1.3652 (.273)		1.9245 (.215)
log-verossimilhança	-517.1525		-551.4622
$E(\sigma_u)$.2409***		
σ_v	.3290***		

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Nota: Erros-padrão robustos em parênteses. ***Significativo a 1%;

**Significativo a 5%; *Significativo a 10%.

A soma das elasticidades estimadas pela translog resulta em 1.033 (erro-padrão de 0.092), significativa a 1%. Ademais, não se rejeita a hipótese nula de retornos constantes de escala (p-valor de 0.722).

Definida a função de estimação translog, seguiu-se a modelagem de elementos que afetam a ineficiência. Ainda a partir dos resultados da Tabela 2, observa-se que o desvio-padrão médio estimado do termo de ineficiência (0.2409), estatisticamente diferente de zero, evidencia a existência de uma distribuição de ineficiência ao longo dos municípios. A razão entre o desvio-padrão médio estimado do termo de ineficiência (σ_u) e o desvio-padrão estimado do erro idiossincrático (σ_v) é elevada

(0.2409/0.3290 = 0.7322). Isso também indica a existência de uma influência não desprezível da ineficiência sobre o processo produtivo de lavouras temporárias no Nordeste.

A análise dos elementos que afetam a ineficiência, como deficiências na infraestrutura de irrigação (Tecnologia), falta de orientação técnica (Treinamento), baixo acesso a recursos financeiros, e cooperação limitada entre os estabelecimentos, permite identificar áreas de melhoria e fornecer indicações para o desenvolvimento de políticas e estratégias que visam aumentar a eficiência na agricultura na região. A Tabela 3 apresenta os elementos que, por hipótese, afetam a ineficiência técnica, com os respectivos coeficientes estimados da média e da variância destes.

Tabela 3: Estimativas para os fatores de influência da ineficiência técnica

Variáveis	Média (μ)	Variância (σ_u^2)
Tecnologia	-2.7884*** (.912)	.2696 (1.152)
Treinamento	-.5816 (.486)	-.6229 (2.115)
Financiamento	-.8055* (.432)	1.8689 (1.897)
Log Precipitação	-1.4765*** (.198)	-1.7787** (.894)
Log Temperatura	1.3415 (1.144)	-6.7249** (3.466)
Log Aglomeração	.0672** (.033)	-.5457*** (.156)
Constante	5.8512 (4.075)	33.7186*** (12.090)

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa.

Observa-se que a irrigação, proxy para a Tecnologia, contribui de forma significativa para reduzir ineficiência média. O acesso a Financiamento também se mostra significativo, assim como a Precipitação. Já em relação à Aglomeração de unidades produtiva, há um aparente efeito ambíguo. Por um lado, detecta-se um certo efeito de incremento da ineficiência média, ainda que diminuto. Por outro lado, há evidência de que a elevação do número médio de propriedades agrícolas reduz a dispersão da ineficiência técnica, aproximando os produtores em termos de eficiência de produção, o que pode ser uma evidência de transbordamento de informação e competição.

Um ponto relevante é que não há evidência de efeito significativo do Treinamento sobre a média ou variância da ineficiência técnica. Nos últimos anos, a assistência técnica na agricultura brasileira apresentou redução na cobertura entre o período compreendido pela realização dos censos agropecuários de 2006 e 2017. Desse modo, o efeito captado pode ser decorrente de redução geral da assistência técnica, demonstrando pouca diferenciação estatística entre os municípios. De acordo com Pereira e Castro (2021), 80% dos estabelecimentos agropecuários não contam com qualquer tipo de atendimento, reforçando a necessidade de reestruturar o serviço de assistência técnica.

4.3 Análise da ineficiência na distribuição da produção: efeitos não-monotônicos

Estimados os fatores de influência da ineficiência, buscou-se testar a existência de efeitos não monotônicos sobre produção. Assim, faz-se necessário estimar o efeito marginal médio ao longo da distribuição empírica dos fatores que, por hipótese, afetam diretamente a ineficiência das Unidades

Tomadoras de Decisão (UTD)⁷. Inicialmente, para cada coeficiente, foi analisado o comportamento da média e da variância, supostas não constantes, observando os quantis da distribuição. Em seguida, observou-se o comportamento da distribuição de cada fator de influência.

A análise inicial, a partir da Tabela 4, apresenta os quantis dos fatores selecionados, que foram utilizados para calcular o efeito marginal médio sobre a ineficiência, ao longo da distribuição de cada covariável. Destaca-se a baixa incidência de Tecnologia, Treinamento e Financiamento na distribuição das UTD.

Tabela 4: Quantis dos fatores de influência da ineficiência técnica

Variáveis	q10	q20	q30	q40	q50	q60	q70	q80	q90
Tecnologia	.0039	.0111	.0198	.0298	.0458	.0657	.0991	.1508	.2767
Treinamento	.0072	.0155	.0241	.0324	.0451	.0607	.0802	.1111	.1785
Financiamento	.0307	.0492	.0648	.0806	.0944	.1116	.1288	.1538	.1969
Precipitação	605.81	674.91	727.53	778.32	821.76	887.12	971.53	1080.15	1359.69
Temperatura	23.46	24.12	24.58	24.86	25.18	25.65	26.08	26.44	26.87
Aglomeração	93	163	239	321	421	512	668	979	1414

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa.

Por exemplo, em 60% dos municípios a irrigação é utilizada em menos de 7% das unidades produtoras (q60, tecnologia). Resultado semelhante é encontrado para a orientação técnica (q60, treinamento). Considerando ainda 60% dos municípios, observa-se que somente cerca de 12% das unidades produtoras obtiveram algum tipo de crédito (q60, financiamento).

A Tabela 5 apresenta a estimativa do efeito marginal médio para cada intervalo interquantil definido com base nos quantis da Tabela 4. Observa-se a identificação de efeitos significativos e não monotônicos (decrecentes) para as variáveis tecnologia, financiamento e precipitação. Os demais fatores apresentam coeficientes não significativos.

No caso dos fatores Financiamento e Precipitação, há não apenas efeitos decrecentes ao longo da distribuição, mas também um esgotamento do efeito na cauda direita, representada pelo intervalo [q90, max], com coeficiente não significativo. Não apenas há uma forte redução na magnitude do efeito no quantil mais elevado desses fatores, como a incerteza é bastante elevada. Em municípios em que as propriedades são mais atendidas por Financiamento, por exemplo, incrementos marginais no acesso ao crédito não geram, em média, retornos em termos de redução da ineficiência.

Para uma melhor compreensão da magnitude dos efeitos estimados, a Figura 1 mostra a distribuição da ineficiência técnica, cuja média estimada é de aproximadamente 0.40 pontos. Logo, para os municípios que se encontram no intervalo [q40, q50) de tecnologia (de acordo com a Tabela 4, em que o total de propriedades atendidas com irrigação está entre 3,24% e 4,51%), por exemplo, estima-se que um incremento de 1 ponto percentual no total de unidades atendidas com irrigação gera uma redução de $-2.0034 \times 0.01 = -.02$ pontos na ineficiência média.

⁷ Como explica Wang (2002), o efeito marginal das covariáveis que afetam a ineficiência é calculado para cada Unidade Tomadora de Decisão, pois depende da variância da ineficiência (σ_{ui}^2), suposta não constante ao longo das UTD, e da média do termo de ineficiência (μ_i), também suposta não constante. Além disso, como tanto a variância quanto a média do termo de ineficiência foram parametrizados no presente estudo, o efeito marginal médio de cada covariável depende de ambos os coeficientes apresentados na Tabela 3, o que permite identificar efeitos não lineares ao longo da distribuição das UTD.

Tabela 5: Efeito marginal médio sobre a ineficiência técnica

Intervalo Interquantil	Tecnologia	Treinamento	Crédito	Log Precipitação	Log Temperatura	Log Aglomeração
[min, q10)	-1.8895** (.742)	-.3902 (.641)	-.3192** (.149)	-1.3245** (.480)	-.0848 (.870)	-.0463 (.030)
[q10, q20)	-1.9300*** (.721)	-.3797 (.665)	-.4086** (.170)	-1.2768*** (.481)	.2379 (.788)	-.0198 (.024)
[q20, q30)	-1.9748*** (.699)	-.3750 (.647)	-.4258** (.182)	-1.2442** (.494)	.7132 (.913)	-.0089 (.020)
[q30, q40)	-2.0111*** (.682)	-.3805 (.589)	-.3680** (.168)	-1.2065** (.477)	.6577 (.890)	.0012 (.021)
[q40, q50)	-2.0034*** (.680)	-.3981 (.579)	-.4396** (.179)	-1.1641** (.474)	.4718 (.801)	.0112 (.025)
[q50, q60)	-1.8503*** (.621)	-.3945 (.569)	-.4583** (.191)	-1.0364** (.435)	.5289 (.868)	.0176 (.026)
[q60, q70)	-1.6944*** (.552)	-.3692 (.519)	-.3949** (.180)	-.8768** (.367)	.4456 (.833)	.0225 (.027)
[q70, q80)	-1.5255*** (.509)	-.3817 (.481)	-.3983** (.189)	-.7972** (.368)	.4354 (.828)	.0313 (.030)
[q80, q90)	-.9809*** (.299)	-.3863 (.442)	-.3393** (.172)	-.5375* (.304)	.5008 (.996)	.0412 (.033)
[q90, max]	-.4299** (.200)	-.3076 (.355)	-.1912 (.182)	-.1981 (.266)	.3791 (1.121)	.0512 (.036)

Fonte: Elaborada pelo autor. Nota: Em parênteses, erros-padrão gerados por bootstrap com 1.000 replicações. O efeito marginal médio é calculado ao longo do intervalo interquantil de cada covariável selecionada. ***Significativo a 1%; **Significativo a 5%; *Significativo a 10%.

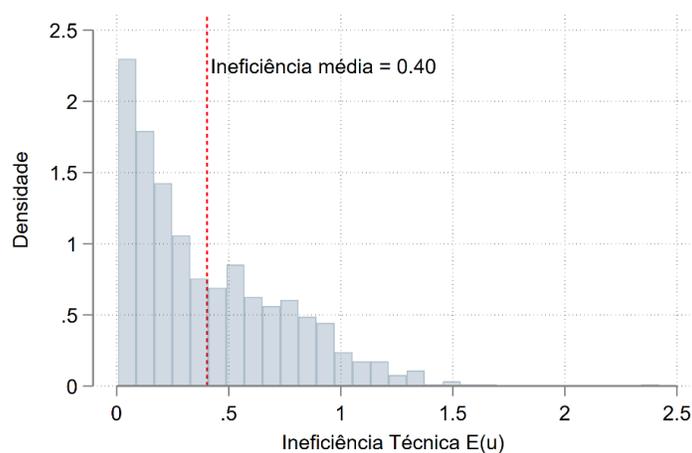


Figura 1: Distribuição da ineficiência técnica estimada ao longo dos municípios do Nordeste

Fonte: Elaborada pelo autor.

Uma segunda análise busca computar os efeitos marginais condicionais a cada UTD, complementando a estratégia de estimação do efeito marginal médio dentro dos intervalos interquantis. A Figura 2 mostra a tendência dos efeitos marginais ao longo de toda a distribuição dos municípios nordestinos produtores de lavouras temporárias. Para auxiliar na visualização da tendência, um spline cúbico também foi estimado.

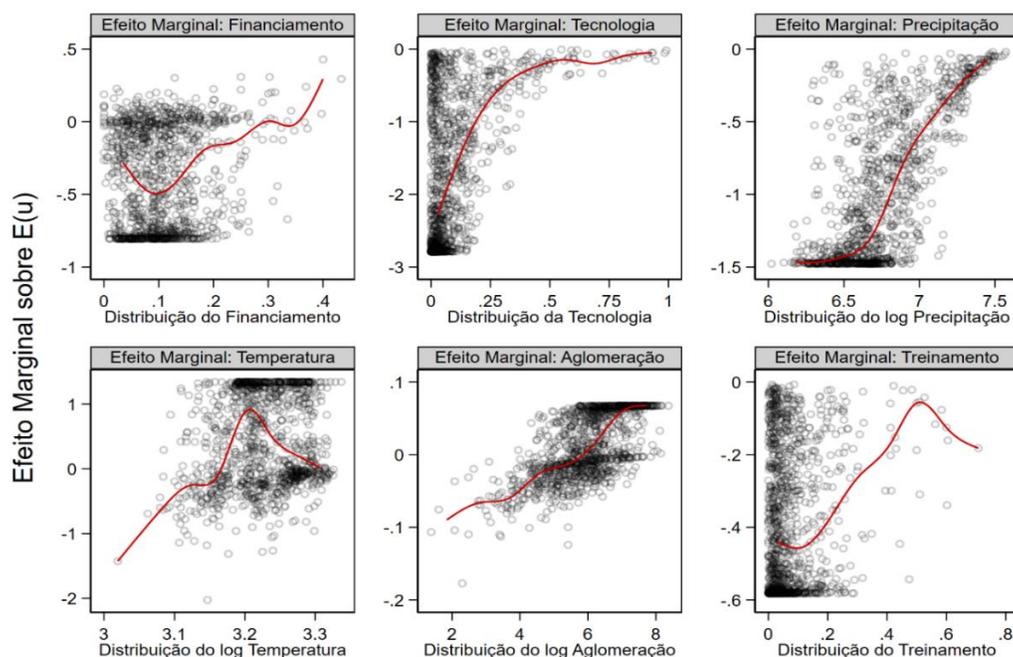


Figura 2: Efeito marginal médio sobre a ineficiência ao longo da distribuição dos fatores de influência

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nota: Os círculos pretos representam os municípios nordestinos (Unidades Tomadoras de Decisão). A linha sólida representa a estimativa de um spline cúbico entre o efeito marginal (eixo vertical) e a distribuição dos fatores de influência ao longo das UTDs (eixo horizontal).

Observa-se a redução do efeito marginal da irrigação, proxy para tecnologia, e da precipitação ao longo da distribuição das UTDs. De todo modo, todas as estimativas pontuais se encontram abaixo do eixo nulo, indicando uma contribuição efetiva para a redução da ineficiência.

Além da Tecnologia, é importante observar o comportamento de outros fatores em tese importantes para reduzir a ineficiência, como Treinamento e Financiamento. Nota-se que os efeitos marginais do Treinamento e do Financiamento sobre a ineficiência não apresentam um padrão claro na sua distribuição, com uma grande volatilidade na magnitude dos efeitos. Embora se encontrem abaixo do eixo, o que indicaria um efeito negativo, o comportamento da distribuição desses fatores contribui para a incerteza dos efeitos marginais médios estimados para as respectivas variáveis.

4.4 Análise espacial da eficiência produtiva no Nordeste

A análise buscou ainda fazer uma aproximação espacial da eficiência nas lavouras temporárias, considerando os principais fatores relevantes. No Nordeste, em 2020, em termos da produção de grãos, a Bahia foi o principal produtor, com 42,0% de participação regional. O Maranhão teve a segunda maior participação na Região (25,8%). E o Piauí foi o terceiro maior produtor, com 24,5% da produção. Os demais estados - Alagoas, Pernambuco, Rio grande do Norte e Sergipe - representam, em conjunto, 4,8% da produção de grãos do Nordeste. O Ceará e a Paraíba apresentaram declínio na produção das culturas de grãos (ETENE, 2020). A Tabela 6 apresenta a eficiência média do Nordeste e de suas unidades federativas a partir do modelo estimado.

A eficiência média da Região Nordeste é 0.7102. Com base nos resultados estimados, existe uma perda média de aproximadamente 29% no produto devido à ineficiência técnica. Para Conceição e Araújo

(2000), um nível de eficiência acima de 70% não pode ser considerado baixo, contudo, evidencia que ainda há espaço para aumentar o desempenho das lavouras por meio da promoção da eficiência.

Tabela 6: Eficiência média dos estados

UF	UTD	Eficiência Média	Eficiência Mediana	Desvio-Padrão	Min	Max
Alagoas	83	0,6523	0,7192	0,222	0,2350	0,9428
Bahia	316	0,7084	0,7481	0,174	0,2640	0,9886
Ceará	114	0,6222	0,5979	0,142	0,3611	0,9430
Maranhão	141	0,9518	0,9574	0,032	0,8360	0,9931
Paraíba	92	0,6014	0,5980	0,188	0,2020	0,9476
Pernambuco	145	0,6123	0,6046	0,220	0,2301	0,9711
Piauí	137	0,8033	0,8458	0,154	0,4057	0,9913
Rio Grande do Norte	70	0,6194	0,5903	0,207	0,0928	0,9458
Sergipe	54	0,6939	0,7106	0,155	0,3115	0,9751
Nordeste	1152	0,7102	0,7546	0,203	0,0928	0,9931
MATOPIBA	164	0,9102	0,9404	0,082	0,5523	0,9859
Nordeste sem MATOPIBA	988	0,6770	0,6903	0,198	0,0928	0,9931

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 3 traz a distribuição espacial da eficiência estimada dos municípios nordestinos para a produção de lavouras temporárias. Observa-se que as UTD mais eficientes na produção das lavouras temporárias estão localizadas no Maranhão. As análises realizadas sugerem que o sistema de produção da região tem condições potenciais para elevar a sua eficiência técnica média. Algumas localidades conseguem se diferenciar por conta de uma melhor utilização dos recursos disponíveis, conseguindo maior volume de produção.

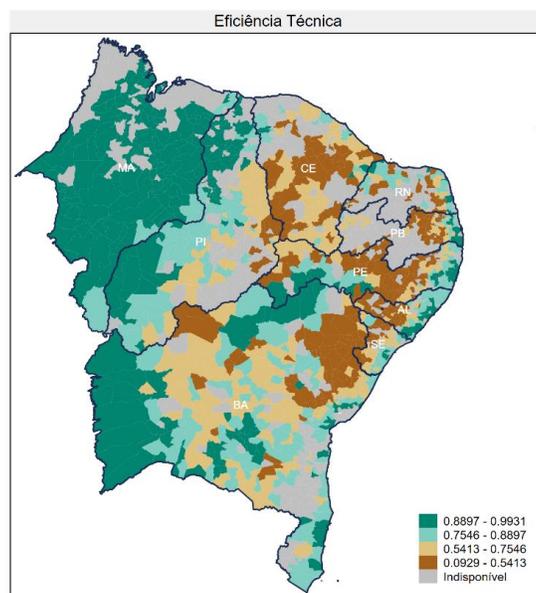


Figura 3: Distribuição espacial da eficiência técnica na produção de lavouras temporárias sobre a amostra efetiva de municípios do Nordeste

Fonte: Elaborada pelos autores.

Dentre as maiores culturas temporárias, a cana é produzida uniformemente na região, assim, supõe-se que o diferencial quanto à produtividade é a soja. Isso porque a soja é produzida tecnicamente nos estados mais eficientes e sua produção requer altos níveis tecnológicos. É considerável destacar a

região do MATOPIBA, formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, conhecida por seu potencial agrícola. Leva-se em consideração a composição entre insumos e produto para considerar uma região tecnicamente eficiente.

A região do MATOPIBA apresenta uma eficiência média (0,9102) e mediana (0,9404) relativamente alta, em comparação com o restante do Nordeste. Isso indica que, em média, a região apresenta uma alta proporção de unidades produtivas alcançando bons resultados. Além da soja, a região do MATOPIBA é relevante na produção de outros grãos, especialmente milho e algodão. Vale enfatizar também a cultura do arroz no Maranhão, que é o maior produtor no Nordeste, e tem a maior parte das lavouras de arroz irrigadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente teve como objetivo analisar o comportamento da eficiência técnica sobre a produtividade agrícola das lavouras temporárias no Nordeste do Brasil. Foi utilizada a fronteira de produção estocástica, proposta por Battese e Coelli (1995), com a forma funcional flexível do tipo translog. A modelagem proposta utilizou fatores relevantes para explicar a eficiência produtiva, além de trazer a análise sobre elementos para reduzir a ineficiência na produção de lavouras temporárias na região.

Foram considerados, a partir da literatura, os fatores clássicos de uma função de produção, como Terra, Capital e Trabalho, além de insumos relevantes, agrupados em um fator Outros, para determinar a eficiência. Foi analisada ainda a influência de elementos que ajudariam a reduzir a ineficiência encontrada na região. Nessa modelagem, foram considerados elementos relacionados ao clima, como Temperatura e Precipitação, importantes pelas características da região. Foram ainda considerados outros elementos, como Aglomeração das unidades produtoras. Por fim, foram considerados elementos como Treinamento, Financiamento e Tecnologia, que tinham maior nível esperado de influência sobre a produtividade.

Em relação aos resultados do estudo, partindo das estimativas das elasticidades, são significativos para melhorar a eficiência o fator Terra, assim como os fatores Capital e Outros insumos. Um achado que chama atenção está associado ao fator Outros, representado por despesas com insumos (como sementes, adubo, agrotóxicos e energia elétrica) que tem efeito maior do que a presença de Capital (máquinas, tratores e implementos agrícolas) no espaço. Isso sugere que os recursos financeiros gastos com insumos e tecnologias agrícolas têm um impacto significativo na eficiência e produtividade agrícola.

Já o fator Trabalho, embora essencial para o cálculo do valor da produção agrícola, parece não contribuir para melhorar a eficiência. Isso indica a necessidade de aprimorar o capital humano na região, por meio da capacitação dos trabalhadores, de modo a incrementar o uso do conhecimento na produção.

No que concerne à modelagem da ineficiência técnica, as variáveis Temperatura e Treinamento não contribuíram para a redução da ineficiência média das lavouras. A Temperatura possivelmente não é significativa devido à reduzida diferenciação nesse quesito, nos diversos municípios da região. E o Treinamento pode não estar diretamente associado à redução da ineficiência técnica média em função da baixa utilização entre as UTD na região, devido à desmobilização dos órgãos de assistência técnica rural. Ainda assim, deve-se ressaltar que o Treinamento pode contribuir para que os agricultores otimizem os recursos e aprimorem as técnicas de manejo, levando a práticas mais eficientes nas lavouras.

Com relação à variável Aglomeração, os resultados indicam uma possível existência de efeito de transbordamento entre os estabelecimentos, mas com incerteza estatística elevada, refletida na variância. Uma possibilidade de política seria o incentivo à permanência no campo e a criação de novas unidades produtivas rurais. Isso poderia promover a formação de cooperativas agrícolas, de forma a disseminar práticas e gerar uma maior homogeneidade de eficiência. Para a redução da ineficiência, mostraram-se significativas também as variáveis de Precipitação, Financiamento e Tecnologia.

A variável Precipitação, ou seja, a quantidade e a distribuição de chuva ao longo do tempo, é um fator crítico para o desenvolvimento das culturas. Nesse sentido, a disponibilidade de água para irrigação pode ser particularmente relevante em regiões onde a precipitação é irregular. Cabe destacar que a região demanda intensamente gastos com adubo, agrotóxico, energia e água para manter uma área irrigada. A má utilização desses mesmos fatores pode também estar relacionada à baixa qualificação da mão de obra.

A variável Financiamento, representada pelo crédito, permite que os agricultores expandam suas operações de custeio e investimento na produção, com aquisição de insumos agrícolas e uso de tecnologias agrícolas modernas e eficientes. O Financiamento agrícola também pode facilitar a comercialização da produção, com infraestrutura de armazenagem e transporte mais adequadas. Políticas de crédito podem incentivar a adoção de práticas sustentáveis e eficientes, com uso adequado de recursos.

No tocante à Tecnologia, podem ser incluídos nesse rol o uso de máquinas agrícolas modernas, sensores e monitoramento de culturas, sistemas de informação geográfica e outras tecnologias relacionadas, além de sistemas de irrigação eficientes. Pode-se assim otimizar o uso de recursos, reduzir os custos de produção e melhorar a qualidade e o rendimento dos produtos agrícolas. É importante considerar que a expansão da área irrigada requer investimentos em infraestrutura de irrigação, como construção de sistemas de captação e distribuição de água. Políticas de investimento nesse sentido podem ajudar a reduzir a dependência das culturas em relação à precipitação natural e garantir um suprimento adequado de água durante períodos de estiagem. Além disso, a irrigação pode proporcionar condições ideais para o cultivo de culturas de alto valor, diversificando a produção agrícola na região.

Em relação aos resultados entre as unidades espaciais, envolvendo estados e municípios, é possível concluir que as lavouras temporárias no Nordeste possuem eficiência técnica média (71%). Isso sugere que a maior parte dos recursos está sendo utilizada de forma eficiente e que há um bom equilíbrio entre os insumos e os resultados obtidos na produção. Entretanto, permanece a evidência de que a ineficiência técnica média da região contribui com 29% dos desvios em relação à fronteira, o que mostra uma margem considerável para melhorar a produtividade e eficiência das UTD nas lavouras temporárias.

Os resultados indicam ainda que os estados mais eficientes na produção das lavouras temporárias são Maranhão, Piauí e Bahia, respectivamente. Esses estados formam, junto com o Tocantins, a região do MATOPIBA, que é destaque na produção de grãos. A eficiência na produção das lavouras temporárias nesses estados pode ser resultado de diversos fatores, como adoção de melhores práticas de manejo, uso eficiente de insumos, acesso a crédito e tecnologias agrícolas avançadas.

As evidências apresentadas mostram que é possível orientar políticas públicas com foco na melhoria da eficiência da produção agrícola do Nordeste. Os estabelecimentos da região apresentam uma pequena ocupação do fator trabalho (em média 4 pessoas), assim como uma baixa utilização de máquinas, tratores e implementos agrícolas (menos de 0,2 unidades de capital em média). Para reduzir a ineficiência e alavancar a produtividade, variáveis como Treinamento, Financiamento e Tecnologia precisariam ser observadas.

Embora o Treinamento não tenha se mostrado significativo, possivelmente por conta da desmobilização geral da orientação agrícola nos órgãos de extensão rural, vale ressaltar que a orientação técnica desempenha um papel fundamental no desempenho agrícola, fornecendo conhecimentos e diretrizes aos produtores para aprimorar suas práticas de cultivo. Já em relação ao Financiamento e Tecnologia, ambos se mostram significativos. O Financiamento, via crédito agrícola, é importante para suportar ações de investimento, que podem trazer a modernização na produção, armazenagem e transporte. E a Tecnologia, com uso de novas máquinas, implementos e irrigação, apresenta evidências de que a produtividade pode ser alavancada, como a área do MATOPIBA demonstra.

No que se refere a desdobramentos futuros, podem ser investigadas maiores detalhamentos de grupos de produtos ou culturas específicas, trazendo evidências sobre diferentes formas de organização

da produção entre estas. Outra perspectiva está no estudo em relação a diferentes espaços de produção dentro da própria região Nordeste, observando características específicas de sub-regiões e municípios.

REFERÊNCIAS

- AIGNER, D. J.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. **Formulation and estimation of stochastic frontier production functions models**. Journal of Econometrics, Amsterdam, v. 6, p. 21–37, 1977.
- ARAÚJO, J. Andrade; MANCAL, Ansu. **Produtividade e eficiência no setor agropecuário do nordeste brasileiro**. Scientific Electronic Library Online. Campo Grande. jul.-dez. de 2015.
- ARAÚJO, W. B. Cerqueira. ARAÚJO, J. Andrade. **Produtividade, variação da eficiência técnica e tecnológica na agricultura dos municípios cearenses**. Scientific Electronic Library Online. 2014.
- BARROS, E. de Souza; XAVIER, L. Ferraz; FONSECA, H. V. de Paiva; COSTA, E. de Farias. **Eficiência na produção agrícola do Vale São Francisco: mensuração de escores e análise de fatores correlacionados**. Rev. de Economia Agrícola, São Paulo, v. 63, n. 2, p. 35-50, jul.-dez. de 2016.
- BIAGE, Milton. **Estatística Econômica e Introdução à Econometria**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2012.
- CARNEIRO, Wendell Márcio Araújo. ETENE, Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. **Produção Agrícola do Nordeste em 2020. Diário Econômico ETENE**. Ano III - Nº 89. ISSN 2594-7338. 13 de Jul. de 2020. Disponível em: < https://g20mais20.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/555/1/2020_DEE_89.pdf>. Acesso em: 18 de jun. de 2021.
- COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Boston: Kluwer Academic Publishers. 1998.
- ECMWF, Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo. 2023. Disponível em: < <https://www.ecmwf.int/>>. Acesso em: 15 de abril de 2023.
- FREITAS, R. Edivaldo. **Produtividade Agrícola no Brasil**. Capítulo 12. Técnico de planejamento e pesquisa da Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação, Regulação e Infraestrutura (Diset) do Ipea. 2014.
- FÜRSTENAU, Vivian. **A política de crédito rural na economia brasileira pós 1960**. Porto Alegre, 1987. Disponível em: <<http://revistas.fee.tche.br/index.php/ensaios/article/viewFile/1075/1416>>. Acesso em: 22 de jun. de 2017.
- GASQUES, J. Garcia; BASTOS, E. Teles; BACCHI, Mirian P.R.; CONCEIÇÃO, Júnia C.P.R. da. **Condicionantes da produtividade da agropecuária brasileira**. Repositório do conhecimento do Ipea. Jul./Ago. de set. de 2004.
- GASQUES, J. Garcia; FILHO, José E. R. Vieira; NAVARRO, Zander. **Produtividade total dos fatores e transformações da agricultura brasileira. A agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2010.
- GOMES, A. P.; ALCANTARA FILHO, J. L.; SCALCO, P. R. **Eficiência, tecnologia e produtividade total dos fatores: uma análise das mudanças recentes na agropecuária do Nordeste**. Fortaleza. 2009.
- IBGE. **Censo agropecuário**. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>>. Acesso em: 05 de jun. de 2021.
- KUMBHAKAR, Subal C.; LOVELL, C. K.. **Stochastic frontier analysis**. Cambridge university press. 2000.

- KUMBHAKAR, Subal C.; WANG, H.; HORNCastle, ALAN P.. **Um guia prático para análise de fronteira estocástica usando Stata**. Cambridge University Press. 2015. Disponível em: <https://assets.cambridge.org/97811070/29514/frontmatter/9781107029514_frontmatter.pdf>. Acesso em: 24 de nov. de 2021.
- LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S.S.. **The measurement of productive efficiency**. New York. Oxford University, 1993.
- LUNA, A. Teles; COSTA, E. Martins; CAMPOS, R. Telmo; SOUZA, Helson Gomes de; e DIAS, T. Karen Magalhães. **Função de produção e eficiência técnica da agropecuária cearense**. Repositório Institucional UFC. 27 de maio de 2021.
- MAPA. **Agropecuária puxa o PIB de 2017**. 4 de dezembro de 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017>>. Acesso em: 10 de ago. de 2021.
- MARIANO, J. Luiz; PINHEIRO, G. M.T. Lyra. **Eficiência Técnica da Agricultura Familiar no Projeto de Irrigação do Baixo Açu (RN)**. Revista Econômica do Nordeste. Volume 40, Nº 02. Abril /jun. de 2009.
- PEREIRA, Caroline N.. CASTRO, César N. **Assistência Técnica na agricultura brasileira: Uma análise sobre a origem da orientação técnica por meio do censo agropecuária de 2017**. Rio de Janeiro. Out. de 2021.
- PINTO, Luis F. DE P.. **Eficiência Técnica e Econômica: Evidências de conflitos na análise da infraestrutura física da Universidade de Brasília (UnB)**. Repositório Institucional da UNB. Brasília-DF, 2013.
- SANTOS, F. A. Agra. **Condicionantes da eficiência na agropecuária do Nordeste**. Locus Repositório Institucional da UFV. Viçosa- MG. 2002.
- SILVA, F. Pinto da; ARAÚJO, J. Andrade; COSTA, E. Martins; VIEIRA FILHO, J. E. Ribeiro. Eficiência técnica das regiões semiáridas e não semiáridas do Nordeste brasileiro: Mensurando a função de metafronteira de produção. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. 2019.
- SOUZA, G. da Silva e. GOMES, E. Gonçalves. ALVES, E. R. de A. Alves. GASQUES, J. G.. **Technological progress in the Brazilian agriculture**. Revista Política Agrícola. 17 maio de 2020.
- SOUZA, H. Gomes de; CAMPOS, K. Coelho; CHAVES, F. A. Holanda. **Análise da eficiência da produtividade agrícola nas mesorregiões do estado do Ceará**. Repositório Institucional UFC. 28 de out. de 2020.
- WANG, Hung-Jen. **Heteroscedasticity and Non-Monotonic Efficiency Effects of a Stochastic Frontier Model**. Journal of Productivity Analysis, 18, 241–253. 2002.
- YIN, Ziqi; WU, Jianzhai. **Avaliação de Dependência Espacial de Técnico Agrícola Eficiência: Com base na fronteira estocástica e no modelo econométrico espacial**. 3 de mar. de 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su13052708>>. Acesso em: 16 de jun de 2022.
- ZANINI, Alexandre. **Regulação Econômica No Setor Elétrico Brasileiro: Uma metodologia para definição de fronteiras de eficiência e cálculo do fator X para empresas distribuidoras de energia elétrica**. Repositório Digital PUC-RIO. Rio de Janeiro, ago. de 2004.