

PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA TÉCNICA NA LAVOURA DE MANGA NO VALE DO SÃO FRANCISCO

PRODUCTIVITY AND TECHNICAL EFFICIENCY IN THE MANGO FARMING IN THE SÃO FRANCISCO VALLEY

Autora: Caliane Borges Ferreira

Filiação: AEVSF/FACAPE

E-mail: caliane.borges@prof.facape.br

Grupo de Trabalho: GT3. Evolução, estrutura e dinâmica dos complexos agroindustriais.

Resumo

O aumento da demanda por produtos agrícolas vem ocasionando mudanças significativas no mundo todo, o que também aumenta a demanda por recursos hídricos. No Vale do São Francisco no semiárido nordestino, esse cenário não é diferente. A região apresenta grande potencial para a produção de fruticultura irrigada, produzindo 2,5 safras anuais. O polo Petrolina/Juazeiro produz frutas frescas com destaque para manga e uva. A manga é a cultura com maior representatividade na região, produzindo, em média, 25 t/ha. Assim, este estudo trata da análise de produtividade e eficiência, a partir de métodos desenvolvidos por Batesse e Coelli (1995) e Kumbhakar e Lovell (2003), para um grupo de 75 produtores de manga no Distrito de Irrigação Nilo Coelho (DINC) em Petrolina/PE, no período compreendido entre os anos de 2014 a 2018. Além de utilizar o modelo de fronteira de produção estocástica, este estudo analisa também a eficiência técnica de cada produtor pesquisado. Portanto, a contribuição deste trabalho para a literatura empírica é apresentar alguns dos fatores que contribuíram para o desempenho agrícola da região ao longo dos anos e, eventualmente, subsidiar políticas de desenvolvimento regional e setorial. Os resultados apontaram a terra como o insumo de maior representatividade estatística na função de produção, com maior elasticidade, seguida do fator de produção capital. Contudo, apesar do sinal esperado positivo para o volume de água destinado à irrigação, o coeficiente calculado apresentou-se baixo. Foi possível identificar que apenas 5,3% dos produtores possuem elevada eficiência técnica relativamente. A grande maioria dos produtores, 69,3% estão no eixo central da distribuição, com TE entre 0,4 e 0,8, se apresentando dentro da distribuição média.

Palavras-chave: Vale do São Francisco, Fronteira de Produção Estocástica, Produtividade e Eficiência Técnica.

Abstrat

The rising demand for agricultural products is resulting on significant changes around the world, which also increases the demand for water resources. In the São Francisco Valley, located in the northeastern semiarid region, this scenario is not different. The region has great potential for the production of irrigated fruit, producing 2.5 crops per year. The Petrolina/Juazeiro hub produces fresh fruits, especially mangoes and grapes. Mango is the most representative crop in the region, producing, on average, 25 t/ha a year. Thus, this study conducted the analysis of productivity and efficiency, based on methods developed by Batesse and Coelli (1995) and Kumbhakar and Lovell (2003), for a group of 75 mango producers in the Nilo Coelho Irrigation District (DINC) in Petrolina/PE, with information from 2014 to 2018. In addition to use the stochastic production frontier model, this study also analyzes the technical efficiency of each producer surveyed. Therefore, the contribution of this work to the empirical literature is to present some of the factors that contributed to the agricultural performanc

the region over the years and, eventually, to subsidize regional and sectoral development policies. The results showed land as the input with the highest statistical representation in the production function, with greater elasticity, followed by the capital production factor. However, despite the expected positive sign for the volume of water destined for irrigation, the estimated coefficient was low. It was possible to identify that only 5.3% of the producers are highly technically efficient. The vast majority of producers, 69.3%, are in the central axis of the distribution, with TE between 0.4 and 0.8, presenting themselves within the average distribution.

Keywords: *São Francisco Valley, Stochastic Production Frontier, Productivity and Technical Efficiency Analysis.*

1. Introdução

A expansão da demanda mundial por água, alimentos e energia é fenômeno que ocorre há décadas, tendo se intensificado nos últimos anos em decorrência do aumento populacional nos países em desenvolvimento, da maior longevidade da população, da intensa urbanização, do incremento da classe média, principalmente no Sudeste Asiático, e das mudanças no comportamento dos consumidores. Projeta-se, como consequência desses fatores, o crescimento da demanda global por energia em 40%, por água em 50% e a necessidade de expansão da produção de alimentos em 35% até 2030 (EMBRAPA, 2018).

No Vale do Submédio São Francisco esta realidade não é diferente. Às margens do rio, o polo produtor e exportador de frutas, conhecido como a “Califórnia Brasileira”, tende ao crescimento acelerado da produção. A região destaca-se no âmbito do agronegócio como a maior produtora de frutas do país em consequência da irrigação localizada.

De acordo com a Associação dos Produtores e Exportadores de Hortigranjeiros e Derivados do Vale do São Francisco, o faturamento anual corresponde a R\$ 2 bilhões somente com a produção de manga e uva, principais culturas da região. Deste valor, R\$ 440 milhões, ou seja, 22%, são relativos aos frutos destinados à exportação. A manga é a principal fruta destinada ao mercado externo, atendendo entre 85% e 90% da demanda de exportação no país (VALEXPORT, 2021).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de manga. O Nordeste brasileiro, por sua vez, concentra a maior parte desta produção. A manga se desenvolve de forma altamente tecnificada nas áreas de agricultura irrigada, o que resulta na vantagem de se produzir o ano inteiro, favorecendo os mercados interno e o externo (LIMA, et al, 2018).

Pernambuco e Bahia produziram juntos em 2020 o correspondente a 1.095.098 toneladas de manga, valor equivalente a R\$ 1.272.084,00 comercializados no ano. Considerando que o país produziu, no mesmo período, o equivalente a 1.569.011 toneladas de manga, a participação desses estados nordestinos correspondeu a 69,8% em 2020 (PAM/IBGE, 2021).

A área plantada no Vale do São Francisco cresceu 8,2% de 2019 para 2020, enquanto que o crescimento da área nacional foi de 6,3% no mesmo período, impulsionado por investimento no vale (CEPEA/ESALQ, 2020). Ainda houve a alta dos preços da fruta em 34% de agosto à setembro de 2021, em consequência da demanda externa (CEPEA/ESALQ, 2021).

O volume de exportações cresceu em 30% em 2020, comparando a média anual dos últimos 5 anos, houve um aumento de 16% em receita de exportação. A manga é a fruta com maior volume de exportação no país, 165,66 milhões de dólares de janeiro a outubro de 2020 (CEPEA/ESALQ, 2020). A fruta mostra-se objeto de estudo importante diante de sua produção crescente no cenário nacional e no comércio exterior do agronegócio brasileiro, assim como para a região do Vale, que está inserida em um contexto de extrema seca, e utiliza a irrigação localizada para manter a produção em escala comercial. Assim, faz-se necessário o estudo sobre

eficiência e produtividade no polo, o que pode potencialmente subsidiar políticas públicas voltadas ao desenvolvimento setorial e regional.

Em virtude da necessidade de identificar os componentes de eficiência técnica na produção de manga no Vale do Submédio São Francisco, Ferreira et al. (2014) analisaram o nível de eficiência técnica dos produtores de manga do Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho, em Petrolina (PE). O estudo deu-se por meio da estimação do modelo empírico de fronteira estocástica. Concluiu-se que apenas sete (7) produtores de setenta e três (73) lotes pesquisados mostraram-se tecnicamente eficientes, dado preocupante, visto que o grau de ineficiência foi acima de 90%.

Silva et al. (2017) também analisaram o nível de eficiência técnica dos produtores de manga do DINC, e investigaram as variáveis que afetam a sua eficiência por meio do método não paramétrico DEA BCC com orientação *output*. Após a estimação dos *scores* de eficiência, foi estimado um modelo Tobit. Os resultados mais importantes apontaram que características como escolaridade e interação com instituições de pesquisa tendem a elevar os níveis de eficiência, enquanto a existência de dívidas levam a reduzir.

Para Araújo Jr. et al. (2014), o Vale do Submédio do São Francisco é uma região de grande relevância no cenário nacional na produção de fruticultura irrigada, com destaque para manga e uva. Os autores identificaram e analisaram o nível de eficiência dos produtores de manga do Vale, a partir da metodologia DEA BCC, e identificaram os determinantes da ineficiência, através de modelo regressão censurada Tobit. O resultado da pesquisa mostrou que os produtores são mais eficientes na produção quando comparada com a eficiência na comercialização.

Isto posto, este estudo analisa a produtividade e a eficiência técnica da produção de manga na região, por meio do modelo paramétrico de Fronteira de Produção Estocástica. O estudo foi realizado junto à 75 produtores de manga do Vale Submédio São Francisco, em específico, no Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho, situado no polo Petrolina/Juazeiro. Os dados coletados no segundo semestre de 2019 para os anos de 2014 e 2018, em média, levaram este estudo à análise de um modelo *Cross Section* para os *scores* de eficiência técnica.

Os resultados e discussões para o modelo se apresentam tratando dos *scores* de eficiência, comparando as medidas de TE com as de produtividade por DMU e por fim são analisadas as correlações da TE com as variáveis explicativas terra e volume de água destinados à irrigação, assim como produtividade. Por fim, as considerações finais deste estudo são apresentadas.

2. Metodologia

2.1 Base de Dados

O Distrito de Irrigação Nilo Coelho possui 2.326 lotes irrigados, destes, 84,5% são pequenos produtores, 13,43% é composto por pequenas e médias empresas, sendo apenas 2,19% do total a representação das grandes empresas (DINC, 2017). Para este estudo, a amostra dos lotes não se deu pelo seu tamanho, mas sim pela cultura, ou seja, a pesquisa foi realizada junto aos produtores de manga do DINC.

Os dados coletados junto à administração do DINC foram a área irrigada (média anual), a área irrigável e o volume de água (m³) utilizados anualmente, por lote. Essas informações foram fornecidas pela gerência executiva. A partir desses dados, foram selecionados aleatoriamente os produtores a serem entrevistados, sejam esses grandes, médias e pequenas empresas, assim como pequenos produtores.

Dada uma população com m elementos, denomina-se amostragem aleatória (casual ou acidental) simples o processo de obter um subconjunto de n (com $n < m$) elementos dessa população, conduzido de tal forma que cada uma das $\binom{m}{n}$ combinações de elementos terá igual probabilidade de ser selecionada. A amostragem é feita sem reposição. A probabilidade de um

elemento ser escolhido em qualquer um dos n sorteios feitos para constituir a amostra é, *a priori*, igual a $\frac{1}{m}$ (HOFFMANN, 2011).

A expectativa era de que fossem entrevistados 100 produtores, considerando um total de 2.326 lotes, para $n_0 = \frac{1}{(E_0)^2}$, onde n_0 é a primeira aproximação e E_0 o erro amostral. Assim, para $E_0 = 10$, $n_0 = 100$. O tamanho da amostra considerando $N = 2.326$ é de $n = 95,87$. Foram corretamente aplicados e preenchidos 82 questionários e, desses, retirados os *outliers*, restando 75 questionários tabulados, totalizando 707 hectares.

Descrição das variáveis:

PRODUTO: volume anual de produção de manga, em toneladas.

TERRA: área plantada (irrigada) com manga em hectares. Também foi coletado o tamanho total da área para melhor análise dos resultados.

CAPITAL¹: máquinas, instrumentos agrícolas e veículos, tratores, semeadeiras ou plantadeiras, colheitadeiras, adubadeiras ou distribuidoras de calcário, caminhões, utilitários, automóveis, motocicletas, aviões e aeronaves para uso agrícola, expressos em valores (R\$) anuais (IBGE, 2017).

TRABALHO²: somatório anual do número de mão de obra empregada na produção, sendo mão de obra temporária (diaristas) e/ou permanente/familiar.

VOLUME³: volume de água em m³ utilizado para irrigação.

Outras variáveis foram investigadas, mas não utilizadas no modelo econométrico, elas auxiliaram na análise dos resultados, discussões e conclusões da pesquisa. São informações sobre o perfil do produtor/lote, assim como informações sobre o proprietário, sobre o sistema de irrigação, do uso de técnicas ou práticas utilizadas no cuidado das culturas, além de uso de técnicas ou práticas no cuidado da cultura pós-colheita.

A base de dados, contendo 390 observações, está descrita estatisticamente na Figura 1. O valor médio da produção de manga corresponde a 284.48 t, sendo o valor mínimo (15 t) pertencente ao produtor 73 em 2014. O lote também apresenta menor área cultivada, 1 hectare, juntamente com os produtores 40 e 70. Em relação à máxima do volume de produção, 2,052 t, o produtor 44 encontra-se na escala de grande produtor, cultivando em 54 ha.

Figura 1 - Estatística descritiva.

Variáveis	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Produto	t	284.48	333.44	15	2,052
Terra	ha	9.06	9.05	1	54
Capital	R\$	236,229.50	14,231.40	225,100	309,100
Trabalho	un	11.82	10.53	1	60
Irrigação	m ³	136,239.20	183,571.20	6,000	1.242,000

Fonte: Dados da pesquisa.

Em relação à variável volume de água utilizada na irrigação, esta possui valor médio de 136,239.20 m³ para o grupo de produtores estudado, sendo o maior valor (1,242,000 m³) referente também ao produtor 44, ratificando a relação direta entre volume de água e tamanho da propriedade.

Outro dado a ser observado é o número de trabalhadores envolvidos na produção. Considerando mão de obra temporária, permanente e familiar juntas, há produtores que mantêm

¹ Somada à variável capital está o custo com os implementos agrícolas, em virtude do grande volume de terceirização de máquinas e equipamentos por parte dos produtores. Isto observado *in loco* e comprovado pelos dados levantados pelos questionários.

² Na descrição dos resultados foi realizada uma análise referente à mão de obra feminina e masculina, assim como familiar, para melhor entendimento do perfil dos agricultores.

³ Considera-se irrigação a prática de aplicar água, que não a da chuva, diretamente à superfície do solo cultivado com pastos ou culturas, em quantidades e intervalos determinados, com a finalidade de fornecer água às plantas em condições apropriadas ao seu crescimento e produção (IBGE, 2017).

apenas um trabalhador fixo em seu lote (produtores 11, 14, 18, 28, 29, 40, 41, 46, 52, 56, 66, 73 e 77). No caso do produtor 14, não há mão de obra temporária.

2.2 Modelo Econométrico

2.2.1 Fronteira de Produção Estocástica

A análise de fronteira de produção estocástica, um dos métodos mais adotados na literatura aplicada às medidas de ineficiência técnica, aplica-se neste estudo como meio pelo qual se obtém um dos componentes da produtividade total dos fatores, a eficiência técnica (TE). O objetivo é estimar a fronteira e calcular a sua eficiência relativa, considerando que todos os produtores têm acesso potencial à mesma tecnologia de produção.

O método de fronteira de produção estocástica foi proposto simultaneamente por Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Meeusen e Broeck (1977). Posteriormente, as contribuições de Forsund, Lovell e Schmidt (1980), Schmidt (1986), Bauer (1990), Battese (1992), Greene (1993), Battese e Coelli (1995) permitiram o aprimoramento do método, possibilitando sua implementação com dados em painel e com a incorporação da modelagem do componente de ineficiência técnica de produção. O modelo seguido por este estudo é baseado nas contribuições de Battese e Coelli (1995), que sugerem que a ineficiência técnica é modelada por um vetor de variáveis.

Coelli et al. (1998) definiram a função de produção de uma unidade de produção i no período t como:

$$y_{it} = \exp(x_{it}\beta + v_{it} - u_{it}) \quad (1)$$

em que, y é o vetor de quantidades produzidas (*outputs*); x é o vetor de insumos (*inputs*) utilizados na produção; e β é o vetor de coeficientes a serem estimados (parâmetros).

Em geral, todos os modelos comportam tanto uma abordagem orientada para a estimação da fronteira de produção (modelo orientado ao produto), quanto para a estimação da fronteira de custo (modelo orientado aos insumos). A principal divergência entre os diferentes modelos está na técnica empregada para estimar a fronteira. Segundo Agrell e Bogetoff (2016) e Sickles et al. (2018), os três principais métodos de Análise de Eficiência proposto na literatura são a Análise de Envoltória de Dados (DEA), os Mínimos Quadrados Corrigidos (COLS) e Análise de Fronteira Estocástica (SFA).

COLS e SFA são ambos métodos paramétricos derivados de modelos tradicionais de regressão linear, que se diferenciam na forma pela qual estimam a fronteira de produção ou custo (Kumbhakar e Lovell, 2000; Zanini, 2004; Sickles et al., 2018).

No método dos mínimos quadrados corrigidos, a equação da fronteira é um modelo de regressão linear estimado por mínimo quadrados, onde o intercepto da equação é “ajustado” de forma que os desvios de todas as DMUs frente a fronteira estimada sejam sempre positivos. Já no modelo de fronteira estocástica, a fronteira é um modelo de regressão com erro assimétrico, cujos coeficientes são estimados por máxima verossimilhança (Kumbhakar e Lovell, 2000; Zanini, 2004; Sickles et al., 2018).

Segundo Battese e Coelli (1993), a principal vantagem de se considerar uma análise de fronteira estocástica, ao contrário de outros métodos não paramétricos, está no fato da introdução de um componente de erro para representar ruído, permitindo assim a decomposição do desvio de uma observação em dois componentes: os ruídos aleatórios (v) e os efeitos de ineficiência técnica da produção (u).

Battese e Coelli (1995) utilizaram um teste simples para identificar a presença de ineficiência técnica nos dados. Admitiram que, se $u = 0$, então o componente de erro $\varepsilon = 0$. Desta forma, o termo de erro é simétrico, e os dados não evidenciam a presença de ineficiência técnica. Entretanto, se $u > 0$, então a distribuição de $\varepsilon = v - u$, é negativamente assimétrica e há evidências de ineficiências técnicas nos dados. Desse modo, o termo quantifica a ineficiência técnica ou a distância em relação à fronteira de eficiência.

Considerando que os produtores pesquisados produzem um único produto, a função de produção $f(x)$ descreve a relação técnica entre os insumos (*inputs*) utilizados na produção e o produto (*outputs*). Assim, a fronteira de produção demonstra o máximo que o produtor pode atingir com os recursos disponíveis. Com isso,

$$f(x) = \{y \in \mathbb{R}: y \text{ é o máximo produto associado com } -x \text{ em } y\}.$$

Se o produtor operar sobre a fronteira de produção, este é tecnicamente eficiente, o contrário, tecnicamente ineficiente.

Levando em consideração a variação tecnológica na produção, quando se analisa a evolução da produtividade ao longo do tempo (t), percebido em modelos em dados em painel, um aumento da produtividade pode ser atribuído às variações tecnológicas, ganhos de eficiência, exploração das economias de escala ou pela combinação de todos esses fatores.

2.2.2 Modelo Econométrico

Para o cálculo da eficiência técnica, utilizou-se o método de fronteira de produção estocástica, modela-se uma forma funcional da fronteira de produção, juntamente com as hipóteses distribucionais sobre a ineficiência técnica e os distúrbios aleatórios, obtendo-se um estimador para cada um dos componentes da PTF e também um grau de eficiência técnica.

Primeiramente foi testado um modelo na forma funcional Cobb-Douglas, com distribuição half-normal. Em seguida, o mesmo modelo foi testado com distribuição assimétrica exponencial e gama. Adotou-se a função Cobb-Douglas com distribuição half-normal como melhor forma funcional consistente com os dados, conforme Equação 2.

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln t + \beta_2 \ln k + \beta_3 \ln i + \beta_4 \ln v + (v - u) \quad (2)$$

em que, $\ln y$ é o logaritmo natural da quantidade produzida de manga; $\ln t$ é o logaritmo natural da área colhida; $\ln k$ é o logaritmo natural do capital; $\ln i$ é o logaritmo natural da mão de obra e $\ln v$ é o logaritmo natural do volume de água destinada à irrigação.

Como definiram Battese e Coelli (1992) e Coelli et al. (1998), os termos u e v são vetores que representam componentes distintos do erro. O termo u representa a ineficiência técnica, ou seja, a parte que constitui um desvio para baixo com relação à fronteira de produção, o que pode ser inferido pelo sinal negativo e pela restrição $u \geq 0$. São variáveis aleatórias não negativas com distribuição normal truncada em zero, independente distribuída (não identicamente) com média u_{it} e variância constante σ_u^2 , ($u \sim NT(\mu, \sigma_u^2)$). É o termo do erro unilateral que capta a ineficiência e também faz com que $f(x)$ possa variar entre as firmas.

Já o termo v refere-se à parte aleatória do erro, com distribuição normal, independente e identicamente distribuída, truncada em zero e com variância constante, σ_v^2 ($v \sim iid N(0, \sigma_v^2)$). Sendo esse termo, a distribuição simétrica para captar os efeitos aleatórios de erros de medida e choques exógenos, que fazem com que $f(x)$ possa variar entre as firmas.

Assim, a eficiência técnica relativa à fronteira de produção estocástica é captada pelo componente unilateral do erro $exp(-u)$, em que $u \geq 0$ assegura que todas as observações estejam situadas na fronteira ou abaixo dela. A ineficiência sobre os parâmetros do modelo pode ser baseada nos estimadores de máxima verossimilhança $TE = e^{-u}$. Os componentes de erro são independentes entre si e x_i é suposto ser exógeno, portanto, o modelo pode ser estimado pela técnica de máxima verossimilhança.

Ainda, se $u = 0$, a firma está operando na capacidade máxima de produção, sobre a fronteira. Se $u > 0$, a firma é ineficiente e está produzindo menos do que as possíveis combinações do uso de seus insumos produtivos permitem. Sendo a $ET = 1$, as firmas são tecnicamente eficientes.

Os modelos SFA exigem a adoção *a priori* de uma premissa sobre a forma funcional da Fronteira de Produção. As formas funcionais mais usualmente adotadas são as de Cobb-Douglas (CD) e a Translog (TL) (Coelli et al., 2005; Behr, 2015 apud Leite, 2020).

Ao se assumir uma função de produção específica, torna-se útil adotar as chamadas formas funcionais flexíveis, que fornecem uma aproximação de segunda ordem a funções arbitrárias. A especificação translog, desenvolvida por Christensen, Jorgenson e Lau (1973), constitui um exemplo bastante utilizado. Porém, tais formas costumam necessitar de técnicas não lineares de estimação, fazendo que o problema seja transferido para a validade das suposições necessárias para tais técnicas (MESSA, 2013).

A função Cobb-Douglas, por outro lado, é menos flexível que a Translog, porém é mais parcimoniosa. Ao exigir a estimação de um número menor de parâmetros, a função Cobb-Douglas se adapta melhor a amostras menores (Coelli et al., 2005).

Santos et al. (2004) afirmaram que, na função Cobb-Douglas, há facilidade de estimação econométrica, já que sua forma logarítmica é linear nos parâmetros. A função é homogênea, ou seja, os rendimentos de escala são determinados diretamente pela soma dos coeficientes de regressão iguais a um.

O uso do modelo de uma única equação é justificado ao se assumir que os agricultores maximizam os lucros esperados. Deste modo, a função de fronteira de produção Cobb-Douglas apresenta-se para os 75 núcleos de irrigação do projeto Senador Nilo Coelho.

A estimação simultânea e eficiente dos parâmetros da Equação 2, pelo método da máxima verossimilhança, permite calcular as magnitudes das eficiências técnicas para cada um dos produtores (lotes) da amostra. Este procedimento, proposto por Battese e Coelli (1995), facilita o processo de maximização por intenções, uma vez que o referido parâmetro possui valores situados entre zero e um. Além disso, a estatística γ pode ser utilizada para testar a significância da inclusão dos efeitos de ineficiência técnica na função de produção. Assim, sendo o valor de γ próximo a zero, retrata a menor importância do componente da ineficiência técnica na explicação dos desvios observados da fronteira de produção. Quando seu valor se aproxima de um, maior é a importância da ineficiência técnica nos desvios da fronteira de produção.

Do ponto de vista dos resultados gerados, o enfoque deste estudo concentra-se na estimação dos níveis de eficiência técnica e na explicação das variações desses *scores*. A partir da estimação da ineficiência foi possível calcular os *scores* de eficiência que permitiram ordenar os produtores de acordo com seu desempenho relativo.

A eficiência técnica (ET) pode ser obtida pela função de produção, de modo a poder ser escrita de acordo com a Equação 3 (KUMBHAKAR; LOVELL, 2003).

$$y_i = f(x_i; \beta). TE_i \quad (3)$$

Em que y_i é a quantidade produzida por lote de irrigação, com $i = 1, 2, \dots, 75$, em toneladas de manga. $f(x_i; \beta)$ é a função de produção, em que x_i são os insumos (terra, capital, trabalho e volume de água) com $i = 1, 2, \dots, 75$.

Para reduzir a confusão de notações, substitui-se o subscrito e os argumentos por um identificador do produto. Uma vez que TE_i é a eficiência técnica *output-oriented* do produtor i :

$$TE_i = \frac{y_i}{f(x_i; \beta)} \quad (4)$$

que define TE como a razão entre a produção observada e a produção máxima viável. y_i , atinge seu valor máximo viável de $f(x_i; \beta)$, se, e somente se, $TE_i = 1$. Caso contrário, $TE_i < 1$ fornece uma medida do *déficit* da produção observada a partir da produção máxima viável (KUMBHAKAR; LOVELL, 2003).

Nesse estudo foi utilizado o *software* Stata/MP 16 para calcular os resultados estatísticos através dos dados primários coletados, a partir da forma funcional Cobb-Douglas.

Não existe a melhor forma funcional, mas sim a que melhor representa os dados da modelagem. A função Cobb-Douglas é de fácil interpretação, uma vez que as elasticidades são obtidas diretamente através de uma regressão linear e têm retornos à escala que podem ser constantes, crescentes ou decrescentes, dependendo da soma dos parâmetros do modelo, quando for, respectivamente, igual, maior ou menor que a unidade (PAVELESCU, 2011).

Para Theriault e Serra (2014), o termo da ineficiência pode ser explicado por outros fatores, de forma que uma regressão considerando a própria ineficiência como variável dependente seria interessante para abordar de forma mais consistente quais características podem estar influenciando a eficiência.

Em sua discussão do artigo original de Farrell, Winster (1997) sugeriram que o modelo de fronteira de produção determinística ($\ln y_i = \beta_0 + \sum_n \beta_n \cdot \ln x_{ni} - u_i$) poderia ser estimado em duas etapas. No primeiro passo, o mínimo quadrado ordinário (OLS) é usado para obter estimativas consistentes. Na segunda etapa, o intercepto β_0 enviesado de OLS é deslocada para cima (“corrigido”) para garantir que a fronteira estimada limita os dados de cima. O intercepto COLS é estimado de forma consistente por (KUMBHAKAR; LOVELL, 2003):

$$\beta^*_0 = \beta_0 + \max\{\hat{u}_i\} \quad (5)$$

onde $\hat{u}_i$ são os resíduos de OLS. Corrigidos na direção oposta, $-\hat{u}_i^* = \hat{u}_i - \max\{\hat{u}_i\}$.

Os resíduos COLS são não negativos, com pelo menos um sendo zero, e podem ser usados para fornecer estimativas consistentes da TE de cada produtor por meio de (KUMBHAKAR; LOVELL, 2003):

$$TE_i = \exp\{-\hat{u}_i^*\} \quad (6)$$

A *Corrected Ordinary Least Square – COLS*, é uma técnica de fácil implementação. Contudo, a fronteira de produção estimada é paralela à regressão de OLS, uma vez que apenas o intercepto de OLS é corrigido. Isso implica que a estrutura da tecnologia de produção das “melhores práticas” é a mesma que a estrutura da tecnologia de produção de “tendência central” (KUMBHAKAR; LOVELL, 2003).

Já a *Corrected Mean Absolute Deviation – CMAD* usa o desvio absoluto médio (ou mediano) na regressão. Assim, é possível estimar a eficiência a partir dos resíduos da regressão mediana para calcular o índice de eficiência do tipo COLS usando o mesmo procedimento que para COLS. A diferença entre a regressão OLS e MAD é que a regressão do modelo MAD passa pela mediana, enquanto a regressão OLS passa pela média dos dados. Nesse sentido, MAD é apenas outra regressão e, portanto, o CMAD pode ser usado como uma verificação de robustez (KUMBHAKAR, WANG e HORNCastle, 2015).

3. Resultados e Discussões

3.1 Análise da Produtividade

A Figura 2 apresenta o *ranking* das DMUs pesquisadas a partir da produtividade, mensurada em toneladas de manga por hectare, assim como mostra o volume de água (m³) utilizado na irrigação dos respectivos lotes. Considerando a produtividade média igual a 26 t/ha, 30 produtores dos 75 analisados, ou seja, 40% do total estão acima da média. A média observada na região é de 25 t/ha.

O produtor 50, em média, produz 390 t de manga por ano, em 6 ha, com 7 trabalhadores, R\$ 225,100.00 em capital e 60.000 m³ de volume de água destinados à irrigação. O lote 50 também é a DMU mais tecnicamente eficiente. Já o produtor 49, 2º no *ranking* de produtividade e 8º tratando-se de eficiência técnica, produziu 330 t de manga/ano em 6 ha, com 3 trabalhadores, R\$ 241,035.00 em capital e 48.000 m³ de água.

Os produtores 50 e 49 obtiveram produtividades muito próximas, 65 e 55, respectivamente. O que aproxima esses dois produtores, além do tamanho do lote (6 ha), considerados pequenos produtores, é o fato de ambos possuírem vasta experiência na fruticultura irrigada. O produtor 50 é homem, com 71 anos, sendo que 32 anos foram dedicados ao cultivo da manga na região. O produtor 49 é mulher, com 60 anos, destes, 20 anos de experiência. Além, ambos produzem exclusivamente para o mercado interno.

O valor máximo referente ao volume de água é de 1.200.000 m³ utilizados para irrigar o lote 43. Este lote é o 7º no *ranking* de produtividade, produzindo 38 t/ha em 54 hectares irrigados, com capital equivalente a R\$ 256,971,00 e 25 trabalhadores. O valor do capital baixo

para um grande produtor se justifica pela acentuada aceleração da terceirização de máquinas e equipamentos nas etapas de poda e colheita da fruta.

O menor valor de volume de água corresponde a 6.000 m³ utilizados no lote 70, em apenas 1 ha de manga. O valor da moda referente ao volume de água é de 120.000 m³.

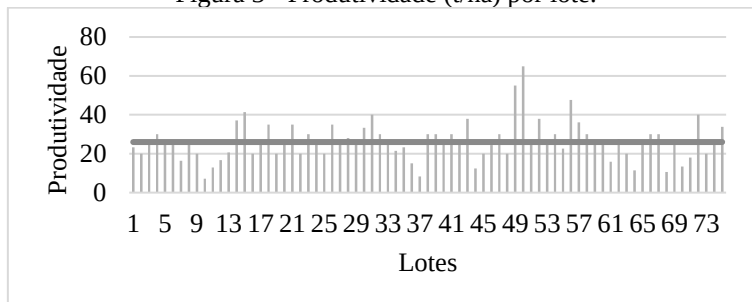
Figura 2 - Ranking da produtividade (t/ha) por lote e volume (m³).

Ranking	Lote	Prod	Volume	Ranking	Lote	Prod	Volume	Ranking	Lote	Prod	Volume
1°	50	65	60000	26°	66	30	480000	51°	55	23	60000
2°	49	55	48000	27°	28	28	34000	52°	34	22	64000
3°	56	48	144000	28°	62	28	480000	53°	13	21	120000
4°	15	41	84000	29°	53	27	384000	54°	25	20	84000
5°	31	40	108000	30°	74	27	32000	55°	48	20	48000
6°	72	40	380000	31°	5	25	180000	56°	63	20	50000
7°	43	38	1200000	32°	17	25	30000	57°	45	20	19000
8°	52	38	350000	33°	20	25	22000	58°	9	20	120000
9°	14	37	80000	34°	51	25	96000	59°	73	20	120000
10°	57	36	170000	35°	60	25	108000	60°	2	20	120000
11°	18	35	40000	36°	8	25	50000	61°	16	20	72000
12°	21	35	120000	37°	24	25	400000	62°	19	20	10000
13°	26	35	78000	38°	27	25	70000	63°	22	20	96000
14°	75	34	200000	39°	40	25	20000	64°	71	18	15000
15°	30	33	12000	40°	42	25	18000	65°	12	17	8000
16°	32	30	480000	41°	65	25	45000	66°	7	16	15000
17°	38	30	12000	42°	69	25	6000	67°	61	16	108000
18°	41	30	80000	43°	3	25	80000	68°	36	15	36000
19°	54	30	270000	44°	6	25	60000	69°	70	13	180000
20°	47	30	165000	45°	29	25	36000	70°	11	13	48000
21°	4	30	120000	46°	33	25	120000	71°	44	12	25000
22°	23	30	108000	47°	59	25	102000	72°	64	11	30880
23°	39	30	8000	48°	46	24	12380	73°	68	11	72000
24°	58	30	200000	49°	1	23	600000	74°	37	8	20000
25°	67	30	120000	50°	35	23	86000	75°	10	7	32000

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 3 apresenta os dados de produtividade por lote pesquisado. 60% dos produtores de manga do DINC estão abaixo da média do modelo, como observado no posicionamento abaixo da linha contínua no gráfico.

Figura 3 - Produtividade (t/ha) por lote.

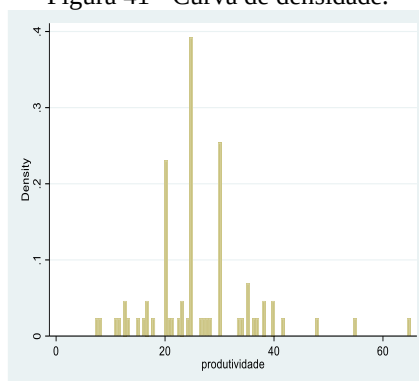


Fonte: Dados da pesquisa.

Ainda, a maior produtividade, 65 t/ha para o lote 50, está 150% acima da média. A segunda DMU no *ranking* de produtividade está a 111,54% acima da média. A DMU 50 é o lote de irrigação *benchmarking* às medidas de eficiência técnica.

Considerando que os valores de produtividade observados para os 75 lotes irrigados configuram um subgrupo dos valores não observados, ou seja, o horizonte total dos produtores de manga do Vale do São Francisco se origina de uma lista hipotética que contém todas as medidas de produtividade de todos os produtores. A Figura 4 mostra o histograma de probabilidade para a produtividade. O eixo x forma um compartimento de valores de produtividade < 100, o valor do eixo y indica a proporção de valores nesse compartimento.

Figura 41 - Curva de densidade.



Fonte: Dados da pesquisa.

A dispersão dos dados se mostra entre 7 e 65, valores mínimos e máximos de produtividade, respectivamente. O pico da distribuição igual a 25 t, moda e média da amostra, o que corresponde a 22,7% dos produtores pesquisados. O agrupamento mais elevado se dar em 65, 55 e 48, o mais baixo em 7, 8 e 11. Os dados revelam uma leve assimetria à direita, e algumas barras isoladas nas extremidades identificam os *outliers*.

Observando a evolução da produtividade para os produtores de manga, esses se mostram heterogêneos na utilização os insumos. Para BACCHI (2019), no caso da agropecuária, o uso de inovações tecnológicas buscando redução de custos médios de produção é decorrente da necessidade de os agentes desse segmento da economia manterem suas posições no mercado concorrencial em que estão inseridos. Inovações tecnológicas certamente têm um papel importante a desempenhar nesse processo. De outro lado, também as economias de escala e de escopo obtidas com propriedades de maior tamanho auxiliam no processo de manutenção da competitividade.

3.2 Estimação da Fronteira de Produção

Admitindo uma tecnologia do tipo Cobb-Douglas, e identificando os fatores de produção terra (T), capital (K), trabalho (L) e volume de água (V) como as variáveis explicativas deste modelo, criou-se uma variável binária (*dummy*) para as unidades de produção com produtividade superior a 35 t, em virtude do intervalo de confiança ser igual a 34.796 t (valor máximo). Realizou-se a estimação da fronteira de produção estocástica por meio os Modelos *Corrected OLS – COLS*, assim como para *Corrected Mean Absolute Deviation – CMAD*, ambos *half-normal* pela imposição do modelo Coelli (1995).

A Figura 5 mostra os resultados obtidos para estimação da Fronteira de Produção Estocástica por meio do modelo *COLS*. O modelo chegou a resultado qui-quadrado significativo. Apenas o insumo terra mostrou-se significativo ao nível de 1%. A função de produção apresenta retornos crescentes de escala, $\sum \beta_i > 1$. De acordo com o R^2 , que é uma

medida do grau de proximidade entre os valores estimados e observados, o modelo explica 91,57% da variância da variável dependente (Y).

Figura 5 - Estimativas do modelo COLS.

Fronteira Estocástica de Produção			
Número de observações: 75		Prob > F = 0.000 R ² = 0.9157	
Variáveis	Coefficientes	Erro Padrão	Valor-p
β_0 (const.)	-3.3248	8.9788	0.712
β_1 (lnT)	1.0792	0.0817	0.000*
β_2 (lnK)	0.5092	0.7237	0.484
β_3 (lnL)	-0.0189	0.0528	0.721
β_4 (lnV)	0,0033	0.0582	0.954
dummy	0.5534	0.1111	0.000*

* significativo ao nível de 1%

Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da regressão mostra sinal negativo para a constante do modelo (β_0), assim como para o insumo trabalho (β_3). Como declarado pelo produtor Sr. Márcio Amorim, na realização do questionário teste, *“a mão de obra não é o fator de produção de custo mais elevado na produção de manga, outros insumos como compra de mudas, adubação sólida (adubo químico, orgânico, calcário e fertilizantes) e adubação líquida (defensivos e foliares) são mais caros. A mão de obra é destinada à colheita, seleção e embalagem, que para pequenos e médios produtores esse custo não existe, já que os compradores assumem esse pagamento na negociação do fruto no pomar. A mão de obra paga pelo produtor seria na fertirrigação, no controle de pragas e doenças, no manejo da irrigação, na aplicação de cal para proteção dos frutos, na poda que não se faça por máquinas e na colheita avulsa. Além da adubação a lanço (espalhada sobre o solo por não dissolver na fertirrigação)”*.

Em relação ao capital (β_2), a elasticidade mostra-se positiva (0,5092), ou seja, se o capital aumentar em 1%, o produto aumentará 0,5092%. Esse resultado corrobora com Bragagnolo et al. (2012), que analisaram a produtividade agrícola no cenário brasileiro de 1972 a 2009, verificando os impactos dos fatores capital, trabalho e terra, chegaram ao resultado que o fator de produção que tem maior influência sobre o produto é o capital. Contudo, para Ferreira et al. (2015), que analisaram o nível de eficiência técnica dos pequenos produtores de manga em Petrolina, para o ano agrícola de 2012/2013, o insumo capital mostrou-se inverso, com parâmetro estimado em -0.0426.

Para Bacchi (2019), pode-se inferir que o capital empregado na agropecuária foi o principal determinante do aumento da produtividade brasileira. Isso ocorre especificamente pelo aumento da eficiência do fator capital (tecnologia cristalizada).

Com sinais esperados, as variáveis que também contribuem positivamente à produção de manga são terra (β_1) e volume de água (β_4), com parâmetros estimados em 1.0792 e 0.0033, respectivamente. O fator de produção área cultivada representa o maior valor estimado, refletindo a alta elasticidade por parte dos produtores em depender da melhor utilização desse insumo para serem eficientes. A terra é um insumo fixo dentro dos perímetros irrigados, o que ocasiona uma produção a curto prazo.

Em Souza et al. (2011), que também avaliou a eficiência técnica da produção agrícola por meio da fronteira de produção estocástica, contudo, o estudo foi direcionado aos estados brasileiros, por meio dos dados do Censo Agropecuário dos anos de 1995/96 e de 2006, as elasticidades dos insumos foram de, aproximadamente, 48% para mão-de-obra, 6% para área, 20% para capital e 16% para outros insumos. Contudo, a elasticidade que não se apresentou estatisticamente significativa para os autores foi a da área, que neste estudo apresenta-se com maior retorno à produção de manga.

Quanto ao volume de água utilizado na irrigação, se caracteriza um sinal esperado na estimação do modelo, visto que a região é semiárida. Contudo, o sistema de irrigação centralizado pode contribuir com esta análise. Considerando que o produtor paga ao DINC pelo uso da água, e que este custo é elevado.

Tratando-se na estimação da fronteira de produção pelo modelo *Corrected Mean Absolute Deviation – CMAD*, o R^2 revela-se menor do que o calculado no modelo *COLS*, definindo a variância da variável dependente – produção de manga em toneladas, $R^2 = 0.7488$ (Figura 6). β_0 apresenta-se positivo, indicando uma função linear direta. Apenas o insumo terra foi estatisticamente significativo a 1%, assim como no modelo *COLS*, contudo, com elasticidade maior, $\beta_1 = 1.1073$. Se o capital aumentar em 1%, o produto aumenta em 0,0591%.

Figura 6 - Estimativas do modelo *CMAD*.

Fronteira Estocástica de Produção			
Número de observações: 75		$R^2 = 0.7488$	
Variáveis	Coefficientes	Erro Padrão	Valor-p
β_0 (const.)	3.0148	8.8105	0.733
β_1 (lnT)	1.1073	0.0802	0.000*
β_2 (lnK)	0.0591	0.7102	0.934
β_3 (lnL)	0.0196	0.0518	0.707
β_4 (lnV)	-0.0715	0.0571	0.215
Dummy	0.4659	0.1090	0.000*

* < 0,01 – significativo ao nível de 1%

Fonte: Dados da pesquisa.

Tratando-se do insumo trabalho, este apresenta-se positivo, o que revela uma relação direta da mão de obra com a produção. Já o volume de água destinado à irrigação, para o modelo *CMAD*, mostrou-se negativo, embora ambos não estatisticamente significativos.

Ao comparar os resultados obtidos das medidas de eficiência técnica pelos dois modelos, a TE (em média) no modelo *COLS* mostrou-se maior, 0.6142, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - TE (média) comparadas – modelos *COLS* e *CMAD*.

Variáveis	Obs.	Média	Mínimo	Máximo
TE COLS	75	0.6142	0.1977	1
TE CMAD	75	0.5841	0.1754	1

Fonte: Dados da pesquisa.

3.3 Ranking de Eficiência Técnica

Os produtores têm como objetivo reduzir desperdícios e perdas, seja procurando obter o máximo de produção na utilização de um conjunto de insumos, seja minimizando os custos com insumos, dada a quantidade produzida. Isso determina a eficiência técnica (KUMBHAKAR; LOVELL, 2003).

A Figura 8 mostra as medidas de Eficiência Técnica (TE) para os 75 produtores analisados. Os lotes 50, 26, 18 e 39 são os mais tecnicamente eficientes, com medidas maiores que 0,9000, todos administrados por homens com experiência no manejo da fruta. As variáveis que mais aproximam os dois primeiros produtores (lotes 50 e 26) do *ranking* de classificação em função da TE são idade, sexo e grau de escolaridade. Quanto ao volume de produção, a DMU 50 produziu 65 t/ha, bem acima da média na região, que é 25 t/ha. Já a DMU 26 produziu 35 t/ha.

Figura 8 - Eficiência técnica por lote pesquisado.

<i>Ranking</i>	<i>Lote</i>	<i>TE</i>	<i>Ranking</i>	<i>Lote</i>	<i>TE</i>	<i>Ranking</i>	<i>Lote</i>	<i>TE</i>
1°	50	1.0000	26°	8	0.6824	51°	1	0.5362
2°	26	0.9573	27°	56	0.6785	52°	16	0.5335
3°	18	0.9346	28°	65	0.6684	53°	13	0.5298
4°	39	0.9090	29°	53	0.6659	54°	48	0.5257
5°	75	0.8799	30°	6	0.6611	55°	72	0.5239
6°	38	0.8567	31°	27	0.6588	56°	14	0.5238
7°	30	0.8154	32°	5	0.6579	57°	57	0.5189
8°	49	0.8109	33°	59	0.6544	58°	33	0.5174
9°	67	0.8049	34°	62	0.6362	59°	22	0.5148
10°	4	0.7982	35°	60	0.6344	60°	73	0.5144
11°	41	0.7874	36°	29	0.6191	61°	21	0.5073
12°	47	0.7700	37°	31	0.6135	62°	9	0.4949
13°	23	0.7649	38°	35	0.5994	63°	7	0.4827
14°	69	0.7629	39°	3	0.5991	64°	52	0.4706
15°	28	0.7512	40°	55	0.5930	65°	12	0.4703
16°	58	0.7441	41°	51	0.5876	66°	43	0.4638
17°	32	0.7270	42°	19	0.5828	67°	36	0.4252
18°	40	0.7263	43°	34	0.5823	68°	61	0.4079
19°	46	0.7132	44°	24	0.5792	69°	11	0.3654
20°	17	0.7058	45°	2	0.5764	70°	70	0.3580
21°	20	0.7039	46°	71	0.5724	71°	44	0.3264
22°	54	0.7014	47°	15	0.5631	72°	64	0.3190
23°	74	0.6949	48°	63	0.5569	73°	68	0.2977
24°	66	0.6917	49°	25	0.5496	74°	37	0.2351
25°	42	0.6833	50°	45	0.5372	75°	10	0.1977

Fonte: Dados da pesquisa.

As DMUs 50 e 18 produzem tanto para o mercado externo quanto para o mercado interno, em 6 e 5 ha, respectivamente. Já as DMUs 26 e 39 só produzem para o mercado interno, em 4 e 1 ha, respectivamente.

Em relação ao volume de água destinados à irrigação, os quatro primeiros produtores utilizaram um volume de água muito próximo em função do hectare irrigado. Para os lotes 50, 26, 18 e 39 o volume de água foi de 10.000, 19.500, 8.000 e 8.000 m³, respectivamente. Na região, a média é de 10.000 m³/ha. Os lotes 50, 18 e 39 utilizam a microaspersão como tecnologia de irrigação, já o lote 26 irriga por aspersão convencional.

Os 36 últimos lotes relacionados na Figura 8 obtiveram resultados inferiores à média (0,6142). Ainda, os 14 últimos lotes dos 75 produtores pesquisados apresentaram TE inferior a 0,5000.

Os quatro últimos lotes do *ranking* mostram semelhanças quanto ao tamanho da área plantada (terra), ambos com pequenas áreas. Os lotes 64 e 10 possuem 4 hectares, os lotes 68 e 37 operam com 3 ha. Lembrando que são considerados pequenos produtores aqueles que produzem em até 10 ha.

Em relação ao tipo de irrigação utilizada, apenas os lotes 64 e 68 não irrigam por microaspersão, utilizando o sistema de irrigação por gotejamento, sistema já substituído na região. Outro fator em relação ao uso da irrigação diz respeito ao volume em m³/ha. O lote 68 utiliza muita água, 24.000 m³/ha. Contudo, este lote produz outras culturas, isso pode ter enviesado a amostra.

Os lotes 64 e 68 são administrados por mulheres acima dos 60 anos. Não que esse dado traga diferenciação no tipo de análise. Porém, dos 78 lotes pesquisados, apenas 7 são administrados por mulheres.

Em relação à comercialização, apenas no lote 10 produz com exclusividade para o mercado externo. O lote 68 produz para o mercado interno e externo, já os lotes 64 e 37 somente para o mercado interno.

A Figura 9 apresenta os cinco lotes mais eficientes e os cinco menos eficientes. O objetivo é comparar outras variáveis coletadas, como, se o produtor plantou a área ou comprou a área plantada, se produz para o mercado interno ou externo, ou ambos, além do sexo, idade e grau de escolaridade. Ainda, os anos de experiência na fruticultura irrigada.

Como pode ser observado, todos os produtores tecnicamente mais eficientes são homens, com idade entre 44 e 71 anos. Desses, 80% plantaram a área, 60% produzem apenas para o mercado interno e, apenas o produtor 75 possui ensino superior completo. A média dos anos de experiência com fruticultura irrigada entre os produtores mais eficientes é de 30 anos.

Entre os cinco produtores menos eficientes tecnicamente, dois são mulheres, uma delas analfabeta com 61 anos. A faixa etária está entre 29 e 70 anos, sendo o produtor mais jovem o menos eficiente da amostra. Em relação à área cultivada, 60% dos produtores menos eficientes plantaram a área, assim como 60% produzem para o mercado interno.

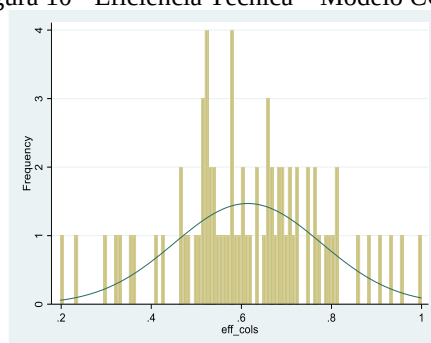
Figura 9 - TE e demais variáveis qualitativas.

Ranking	Lote	TE	Área	Mercado	Sexo	Idade	Escolaridade	Experiência
1º	50	1.0000	plantou	int/ext	M	71	fund incompleto	32
2º	26	0.9573	plantou	interno	M	51	fund incompleto	50
3º	18	0.9346	plantou	int/ext	M	47	médio completo	25
4º	39	0.9090	plantou	interno	M	44	fund completo	5
5º	75	0.8799	comprou	interno	M	64	sup completo	40
71º	44	0.3264	comprou	interno	M	69	fund incompleto	10
72º	64	0.3190	plantou	interno	F	70	fund completo	10
73º	68	0.2877	plantou	int/ext	F	61	analfabeto	32
74º	37	0.2351	plantou	interno	M	51	fund incompleto	34
75º	10	0.1977	comprou	int/ext	M	29	fund incompleto	10

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 10, o histograma dos *scores* de eficiência técnica no modelo COLS, apresenta frequências que mostram a distribuição da TE. 12% dos produtores de manga apresentam *score* de eficiência técnica até 0,8, ou seja, apresentam “melhores práticas” de produção. 18,7% dos produtores estão no nível mais baixo de eficiência, $0,0 < TE < 0,4$. A maioria dos produtores, 69,3% estão no eixo central da distribuição, $0,4 < TE < 0,8$.

Figura 10 - Eficiência Técnica – Modelo COLS.



Fonte: Dados da pesquisa.

Barros et al. (2016) analisaram os diferenciais de eficiência técnica entre os produtores do polo Petrolina-Juazeiro e identificaram os fatores que explicam as variações nesses *scores*. Ressaltaram que a eficiência média da amostra dos 173 produtores entrevistados foi de 48,3%. Nesse sentido, indica-se que a maior parte dos produtores ainda não veio a assimilar a capacidade tecnológica disponível pela agricultura irrigada. Do total de produtores entrevistados, 71,10% ainda apresentam retornos crescentes de escala, 20,23% apresentam retornos decrescentes de escala e 8,67% exibem retornos constantes de escala.

Ainda em relação a Figura 10, a diferença entre o produtor mais eficiente (lote 50) e o menos eficiente (lote 10), é de 0,8023, o correspondente a 80,23%. Que demonstra uma disparidade significativa em relação a melhor e a dita pior utilização dos insumos produtivos.

A Figura 11 apresenta uma comparação das quatro DMUs mais eficientes com as quatro menos eficientes. Nesta comparação, os lotes irrigados 50, 26, 18 e 39 serviram de *benchmarks* para os lotes 64, 68, 37 e 10. As mesmas variáveis utilizadas na estimação do modelo de fronteira estocástica foram utilizadas como medida de comparação, ou seja, produção como variável dependente e terra, capital, trabalho e volume de água como variáveis explicativas.

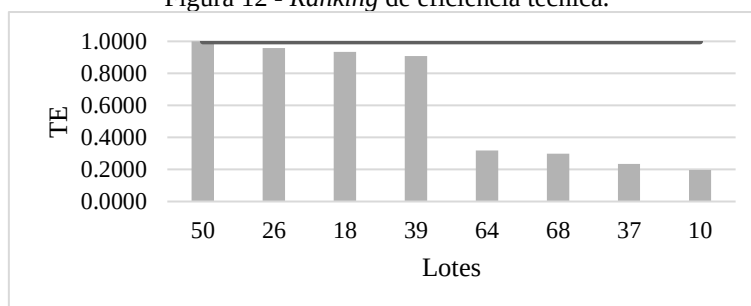
Figura 11 - TE, produtividade (t/ha) e variáveis explicativas comparadas.

<i>Ranking</i>	Lote	TE	Produção T	Terra ha	Capital R\$	Trabalho un	Volume m ³ /s	Produtividade
1°	50	1.0000	390	6	225100	7	60000	65
2°	26	0.9573	140	4	233100	9	78000	35
3°	18	0.9346	175	5	225900	3	40000	35
4°	39	0.9090	30	1	225350	2	8000	30
72°	64	0.3190	50	4	228100	12	30880	11.49
73°	68	0.2977	25	1	233100	7	7000	10.67
74°	37	0.2351	25	3	226300	6	20000	8.33
75°	10	0.1977	32	4	226600	6	30000	7.18

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 12 apresenta as funções distância entre as quatro DMUs mais tecnicamente eficientes das não eficientes. Para o lote 50, que é o mais eficiente, tem-se TE = 1. As demais podem ser comparadas visualmente a partir do distanciamento em relação a este produtor.

Figura 12 - *Ranking* de eficiência técnica.



Fonte: Dados da pesquisa.

No tocante ao primeiro produtor mais eficiente, do lote 50, observou-se que este alcançou (em média) uma quantidade produzida de 390 t de manga utilizando 6 ha de terra, R\$ 225.100,00 em capital, 7 trabalhadores e 60.000 m³ de água.

3.4 Análise Complementar

A matriz de correlação mostra os valores de correlação de Pearson, que medem o grau de relação linear entre cada par de variáveis. Os valores de correlação podem variar entre -1 e

+1. Se as duas variáveis tendem a aumentar e diminuir juntas, o valor de correlação é positivo. Se uma variável aumenta enquanto a outra variável diminui, o valor de correlação é negativo.

Tratando as variáveis volume de água utilizado na irrigação em relação à produtividade, existe uma relação linear positiva. Contudo, fraca, o coeficiente de correlação de Pearson foi de 0,3032, observado na Figura 13.

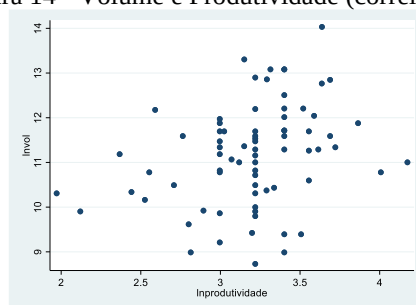
Figura 13 - Correlação – volume e produtividade.

Variáveis	Volume (ln)	Produtividade (ln)
Volume (ln)	1.0000	
Produtividade (ln)	0.3032	1.0000

Fonte: Dados da pesquisa.

A fim de completar a análise, a Figura 14 mostra a dispersão entre volume de água utilizado na irrigação e a produtividade observada nas unidades produtivas.

Figura 14 - Volume e Produtividade (correlação).

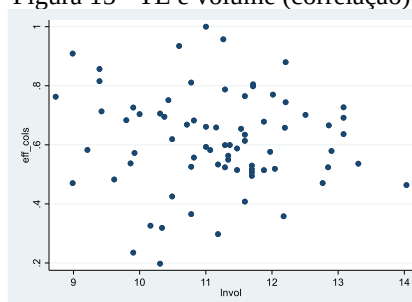


Fonte: Dados da pesquisa.

A seguir são avaliadas visualmente a relação entre as seguintes combinações de variáveis: volume e produtividade, eficiência técnica e volume, eficiência técnica e produtividade, eficiência técnica e terra.

Na Figura 15 é ilustrada a dispersão entre a eficiência técnica calculada pelo modelo *Corrected OLS* e o volume de água utilizado na irrigação. Como pode ser observado, não há uma relação linear explícita, entre as medidas de TE dos lotes irrigados com o volume de água utilizado para irrigar.

Figura 15 - TE e volume (correlação).



Fonte: Dados da pesquisa.

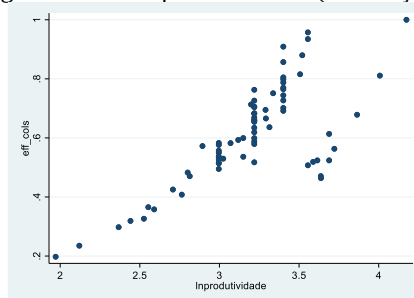
O sistema irrigado mais citado pelos produtores pesquisados foi a microaspersão, 86% dos produtores entrevistados utilizam esta prática de irrigação. Apenas 5% irrigam por aspersão convencional e 9% por gotejamento. As demais práticas não foram citadas.

O efeito potencial da irrigação contribui para os dois pontos mais importantes de uma economia globalizada: para o aumento de produtividade e para a melhoria da qualidade da fruta. Os aumentos de produtividade da mangueira decorrentes do uso de tecnologias, incluindo a

irrigação, mesmo sem monitoramento técnico adequado, podem ser vistos comparando a produtividade média da mangueira sob regime de sequeiro (12 t/ha) com aquelas em áreas irrigadas, cuja média situa-se em torno de 30 t/ha (FRUTIVASF, 2000).

A Figura 16 mostra a dispersão entre a eficiência técnica – COLS e produtividade. Observa-se uma relação direta, o que já é esperado, visto que maiores níveis de eficiência aumentam a produtividade.

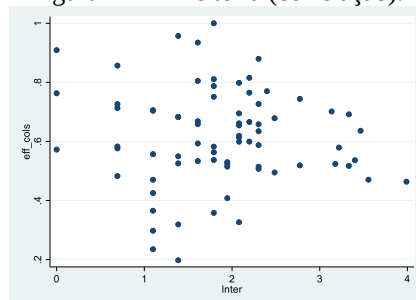
Figura 16 - TE e produtividade (correlação).



Fonte: Dados da pesquisa.

Tratando do insumo terra, a Figura 17 apresenta a correção entre a eficiência técnica e o insumo terra (área cultivada em hectares). Não há relação, as DMUs se apresentam muito dispersas, assim como na TE versus Volume apresentado na Figura 15.

Figura 17 - TE e terra (correlação).



Fonte: Dados da pesquisa.

4. Considerações Finais

Nesta pesquisa analisou-se a produtividade de uma lavoura observando o volume de água destinado à irrigação, cujo custo pode aumentar ao longo do tempo, como resultado de desequilíbrio entre oferta e demanda por água. Em outros países, o custo da irrigação já é bem mais elevado do que no Brasil (RESENDE FILHO et al., 2011). Por outro lado, os trabalhos sobre precificação da água no Brasil são incipientes.

A demanda por água tem sido crescente. No polo Petrolina/Juazeiro, que utiliza para irrigação as águas do Rio São Francisco, o impacto da escassez de água tornou-se menor. Em outros polos, como Açu-Mossoró (RN) ou Livramento de Nossa Senhora (BA), por exemplo, a qualidade das frutas é inferior, comparadas às frutas do Vale, assim como a produtividade. Isso devido a qualidade da água, salobra, dos poços. Além disso, os poços estão secando e os produtores precisam reduzir a área. Em Livramento, as mangueiras só receberam, nos últimos anos, 1/4 da necessidade da planta, o que ajudava a manter o pomar, mas reduzia a produtividade. Em vários pomares, as plantas morreram de sede.

Neste estudo, foi percebido que a terra é o insumo de maior representatividade estatística na função de produção, com maior elasticidade, seguida do fator de produção capital. Contudo, apesar do sinal esperado positivo para o volume de água destinado à irrigação, o coeficiente

calculado apresentou-se baixo, enquanto que o coeficiente para o fator trabalho mostrou-se negativo, o que pode ser justificado pela terceirização de máquinas e equipamentos na cadeia de produção, o que evita maiores investimentos em mão de obra por parte do produtor. Adicionalmente, há a limitação da base de dados; futuras pesquisas podem ampliar o número de lotes amostrados, bem como estabelecerem análises temporais consistentes sobre a estrutura produtiva da região.

A partir da análise dos scores de eficiência técnica calculados para um grupo de 75 produtores de manga no Vale do Submédio São Francisco, entre os anos de 2014 a 2018, foi possível identificar que apenas 5,3% dos produtores apresentam eficiência técnica acima da média da amostra analisada. A grande maioria dos produtores, 69,3% estão no eixo central da distribuição, com TE entre 0,4 e 0,8, se apresentando dentro da distribuição média.

Este estudo mostra-se relevante por apresentar a situação atual da eficiência técnica dos produtores de manga da região, assim como a visão da importância da produção e comercialização do fruto para a economia do Brasil e do Vale, visto que, por meio da mensuração da eficiência técnica é possível verificar também as variáveis causadoras da eficiência ou ineficiência na produção.

Os resultados desta pesquisa sugerem que há um potencial de ganho de produtividade da região por meio do aumento da eficiência técnica, o que ressalta o papel de políticas públicas (assistência técnica, oferta de crédito, infraestrutura etc). O aumento potencial da produtividade será importante para sustentar a competitividade da manga nos mercados internacionais, bem como para o crescimento da lavoura no mercado interno. Adicionalmente, considerando a importância da lavoura na região, estes potenciais ganhos de produtividade fomentarão não apenas o crescimento setorial, mas também o desenvolvimento econômico regional.

Referências

AIGNER, D. J.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. *Formulation and estimation of stochastic frontier production functions models*. **Journal of Econometrics**, v. 6, p. 21-37, 1977.

ARAÚJO JR, J. N. de; LIMA, J. R. F. de; PEREIRA, A. F. C. Análise dos scores de eficiência e os seus determinantes nos pequenos produtores de manga do submédio do vale do São Francisco, polo Juazeiro-Ba/Petrolina-Pe. **3º. Encontro Pernambucano de Economia: Políticas para o Desenvolvimento Estadual**. Recife – PE: 20 e 21 de novembro de 2014. Disponível em: <<https://coreconpe.gov.br/eventos/iiienpecon/artigos/3enpecon2014.pdf>>. Acesso em: outubro de 2018.

BACCHI, Mirian Rumenos Piedade. **Reflexões sobre medidas de produtividade e alguns resultados para a agropecuária brasileira**. 2019. Professora da Esalq/USP e pesquisadora do Cepea. Disponível em:< <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao-cepea/reflexoes-sobre-medidas-de-produtividade-e-alguns-resultados-para-a-agropecuaria-brasileira.aspx>>. Acesso em: abril de 2020.

BATTESE, G. E. *Frontier production function and technical efficiency: a survey of empirical applications in agricultural economics*. **Agricultural Economics**, v. 7, p. 185-208, 1992.

BATTESE, G. E.; COELLI, T. *A Stochastic frontier production incorporating a model for technical inefficiency effects*. **Working Paper in Econometrics and Applied Statistics**, n. 69, Department of Econometrics, University of New England, Armidale, 22 p., 1995.

BATTESE, G. E.; COELLI, T. J. *A stochastic frontier production incorporating a model for technical inefficiency effects*. **Working Papers in Econometrics and Applied Statistics**, n. 69, Department of Econometrics, University of New England, Armidale, 1993.

BEHR, A. *Production and Efficiency Analysis with R*. 1ª. Ed. New York: Springer, 2015. 230 p.

BRAGAGNOLO, C. **Produtividade, Crescimento e Ciclos Econômicos na Agricultura Brasileira**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 168 p. Piracicaba – SP, 2012.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. **Revista Hortifrúti Brasil**. Edição Especial: Anuário 2018-2019. Ano 17. N. 185. 50 p. Dez/2018-Jan/2019. ISSN 1981-1837. Disponível em: <<https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2018-2019.aspx>>. Acesso em: 08 de janeiro de 2019.

_____. **Banco de Dados. Preços Médios dos Hortifrutícolas. Hortifrúti Brasil**. Disponível em: <<https://www.hfbrasil.org.br/br/banco-de-dados-precos-medios-dos-hortifruticolas.aspx>>. Acesso em: 10 de setembro de 2018.

_____. **Boletim CEPEA do Agronegócio Brasileiro**. Piracicaba – SP, v. 1, n. 4, agosto de 2017. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Relatorio%20PIBAGRO%20Brasil_AGOSTO_CEPEA.pdf>. Acesso em: 27 de novembro de 2017.

_____. **Hortifrúti Cepea. Manga**. Disponível em: <<https://www.hfbrasil.org.br/br/estatistica/manga.aspx>>. Acesso em: novembro de 2017.

CHRISTENSEN, L. R.; JORGENSON, D. W.; LAU, L. J. *Transcendental logarithmic production frontiers*. **The Review of Economics and Statistics**, v. 75, n. 1, p. 28-45, 1973.

COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; BATTESE, G. E. *An introduction to efficiency and productivity analysis*. **Kluwer Academic Publishers**, 1998.

COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. *An introduction to efficiency and productivity analysis*. 2ª. Ed. United States of America, 1998.

COELLI, Tim; Rao, D.S. Prasada; Battese, George E. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. **Kluwer Academic Publishers**. Massachusetts, 1998.

DINC – DISTRITO DE IRRIGAÇÃO NILO COELHO. Disponível em: <<http://www.dinc.org.br/>>. Acesso em: 19 de novembro de 2017.

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212 p. ISBN 978-85-7035-799. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao/o-futuro-da-agricultura-brasileira>>. Acesso em: 13 de julho de 2018.

FARREL, M. J. *The measurement of production efficiency*. **Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)**, 120 v., n. 3, 1957.

FERREIRA, C. B.; ARAUJO, J. A.; LIMA, J. R. F. de. Eficiência Técnica na Produção de Manga: um estudo de caso no Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho em Pernambuco. **53º Congresso da Sober: Agropecuária, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. UFPB. João Pessoa: de 26 a 29 de julho de 2015. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1022322>>. Acesso em dezembro de 2018.

FERREIRA, C. B.; ARAUJO, J. A.; TABOSA, F. J. S. e LIMA, J. R. F. de. Produtividade Agrícola nos Países da América Latina. **RESR**. Vol. 54, Nº 03, p. 437-458, Piracicaba – SP: Jul/Set 2016 – Impressa em Setembro de 2016.

FORSUND, F. R.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. *A survey of frontier productivity functions and their relationship to efficiency measurement*. **Journal of Econometrics**, 13 v., p. 5-25, 1980.

FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. (eds.), *The measurement of productive efficiency: techniques and applications*. New York: Oxford University Press, 1993.

FRUTVASF. **Manga. Produção: aspectos técnicos**. Aristóteles Pires de Matos, organizador; Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA). Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 63 p.; (Frutas do Brasil; 4). <http://frutvasf.univasf.edu.br/images/mangaproducao.pdf>

FUGLIE, K. O. et al. *Productivity growth in agriculture: an international perspective*. Washington: **CAB International**, 2012.

GREENE, W. I. I. *The econometric approach to efficiency analysis*. In: FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. (eds.), *The measurement of productive efficiency: techniques and applications*. New York: Oxford University Press, 1993, p. 68-119.

HOFFMANN, Rodolfo. **Estatística para Economistas**. 4ª. Ed. Revisada e Ampliada. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brasil). **Censo Agropecuário 2017 – Resultados Preliminares**. V.7, 108 p. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

_____. **Censo Agropecuário 2017. Resultados Definitivos**. V.8, 105 p. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf>. Acesso em: 2021.

KUMBHAKAR, S. C. and LOVELL, C. A. K. **Stochastic Frontier Analysis**. Cambridge University Press: UK, 2000.

KUMBHAKAR, S. C.; H. WANG and HORNCastle, A. P. *A practitioner's guide to stochastic frontier analysis using Stata*. **Cambridge University Press**. New York – NY, 2015.

LIMA, J. R. F. de et al. Análise do Mercado de Manga Produzida no Vale do São Francisco: cenário atual e perspectivas para o curto prazo. **XIII Sober Nordeste: Dinâmicas de Desenvolvimento no Semiárido**. Juazeiro – BA, 08 a 10 de novembro de 2018. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/soberne2018/119517-ANALISE-DO-MERCADO-DE-MANGA-PRODUZIDA-NO-VALE-DO-SAO-FRANCISCO--CENARIO-ATUAL-E-PERSPECTIVAS-PARA-O-CURTO-PRAZO>>. Acesso em: 08/01/2019.

LOBER, D. B., BONFILS, C. and FAURÈS, J. *The Role of Irrigation Expansion in Past and Future Temperature Trends*. **American Meteorological Society – Journals Online**. 2009.

MEEUSEN, W.; BROECK, V. D. *Efficiency estimation from Cobb-Douglas production with composed error*. **International Economics Review**, 32 v., p. 715-723, 1977.

MESSA, Alexandre. **Indicadores de Produtividade: uma breve revisão dos principais métodos de cálculo**. 2013. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/4045/1/Radar_n28_Indicadores.pdf>. Acesso em: janeiro de 2019.

PAVELESCU, F. M. *Some aspects of translog production function estimation*. **Romanian Journal of Economics**, Bucharest, v. 32, n. 1, p. 131-150, jan. 2011. Disponível em: <<http://revecon.ro/articles/2011-1/2011-1-8.pdf>>. Acesso em: setembro de 2021.

SANTOS, M. L. dos e VIEIRA, W. da C. (editores). **Métodos quantitativos em economia**. Cap. 16 e 17. Editora UFV: Viçosa – MG, 2004.

SCHMIDT, P. *Frontier production function*. **Econometric Reviews**, 4 v., p. 289-328, 1986.

SICKLES, R. C.; SONG, W.; ZELENYUK, V. *Econometric Analysis of Productivity: Theory and Implementation in R*. **Working Paper - Centre for Efficiency and Productivity Analysis**. **Brisbane**: University of Queensland, 2018.

SILVA, J. de S.; FERREIRA, M. de O. e LIMA, J. R. F. de. Eficiência Técnica dos Produtores de Manga do Vale do São Francisco. **Revista de Economia e Agronegócio**. Vol. 15, N 1, 27-49. Viçosa – MG, 2017.

THERIAULT, V.; SERRA, R. *Institutional Environment and Technical Efficiency: A Stochastic Frontier Analysis of Cotton Producers in West Africa*. **Journal of Agricultural Economics**, Malden, v. 65, n. 2, p. 383-405, jan. 2014. doi:10.1111/1477-9552.12049.

VALEXPORT – Associação dos Produtores e Exportadores de Hortigranjeiros e Derivados do Vale do São Francisco. Rodovia BR 235, KM 14 s/n, Zona Rural, Petrolina – PE – CEP: 56.302-970.