

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA NAS MESORREGIÕES DO ESTADO DO CEARÁ**  
ANALYSIS OF AGRICULTURAL PRODUCTIVITY EFFICIENCY IN THE MESOREGIONS OF THE STATE OF CEARÁ

**Me. Helson Gomes de Souza**

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

**Dr. Kilmer Coelho Campos**

Universidade Federal do Ceará (UFC)

**Me. Fellipy Augusto Holanda Chaves**

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

**RESUMO**

O setor agrícola possui grande participação no desempenho econômico do estado do Ceará, tendo apresentado grandes avanços nos últimos anos. Com isso, faz-se necessário investigar sob quais níveis de eficiência a agricultura cearense está atuando e quais os níveis de produtividade deste setor no referido estado. Com isso, o presente trabalho objetiva verificar os níveis de produtividade dos fatores de produção empregados no setor agrícola no Estado do Ceará além de buscar identificar o comportamento da produtividade agrícola do Estado do Ceará. Para tanto, utiliza-se uma metodologia baseada em métodos fundamentados sobre a programação linear. Foram utilizados dados referentes à produção agrícola das mesorregiões cearenses de 2008 a 2012. Por meio da análise envoltória de dados concluiu-se que houve um aumento na eficiência do uso dos fatores de produção do período. 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.

**Palavras-chave:** Valor da produção agrícola. Crédito rural. Ceará.

**ABSTRACT**

The agricultural sector has an important participation in the economic performance of the state of Ceará, having presented great advances in recent years. Thus, it is necessary to investigate under what levels of efficiency agriculture in Ceará is acting and what are the levels of productivity of this sector in the state. Thus, this paper aims to verify the productivity levels of the production factors employed in the agricultural sector in the State of Ceará, besides seeking to identify the behavior of agricultural productivity. For this purpose, a methodology based on linear programming is used. Data on agricultural production of the mesoregions of Ceará from 2008 to 2012 were used. Through data analysis, it was concluded that there was an increase in the efficiency of the use of the production factors during the period. By calculating the Malmquist index it was found that the greatest gains in technical and technological variation occurred in 2010 and 2011. It was also verified that the greatest losses of these variations occurred in 2009.

**Keywords:** Agricultural production value. Rural credit. Ceará.

## 1 INTRODUÇÃO

O setor agrícola é responsável por parte das principais atividades econômicas desenvolvidas no Estado do Ceará, destacando-se em relação aos demais Estados da região Nordeste. De acordo com o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2011), o Ceará possui destaque em relação aos demais Estados da região quando se trata da produção de milho e feijão. No final da década de 2000 e início da década de 2010, por exemplo, a produção de feijão cearense representou 39,6% do total produzido na região Nordeste. Já em relação ao milho, outro produto de destaque, a participação relativa da produção nesse período foi de 28,3%.

Entretanto, Silva *et al.* (2011) destacam que a produção agrícola na região Nordeste possui relação direta com o fator climático, de forma que, essa tende a aumentar em períodos com maior intensidade pluviométrica. Além disso, Silva *et al.* (2011) ainda destacam que essa relação é ainda mais intensa no Estado do Ceará, onde a maioria do território é situado sobre o polígono das secas.

Nesse sentido, Barros *et al.* (2004) consideram que esses fatores interferem na produção agrícola, criando uma necessidade de especialização dos produtores, de forma que, aqueles menos especializados apresentam uma certa tendência à saída do mercado. Levando em consideração que no setor agrícola os preços são dados, a forma mais direta de se obter a eficiência produtiva nesse setor é por meio da intensificação da produtividade.

A produtividade dos fatores de produção no setor agrícola depende da sua empregabilidade adequada em vista das características de cada região e de cada sistema considerando as restrições que essas características proporcionam ao processo produtivo. Santos e Braga (2013) verificam que a produtividade dos fatores no setor rural brasileiro encontra-se distribuída de maneira heterogênea, de forma que, em muitos locais e setores produtivos do País, a produção agrícola não é obtida de maneira eficiente.

Em seu estudo sobre eficiência voltado para a região Nordeste do Brasil, Araújo e Mancal (2015) indicam que a melhoria na produtividade agrícola nessa Região está condicionada ao emprego eficiente dos fatores de produção e dos determinantes tecnológicos que tornam possível uma produção agrícola competitiva, levando em consideração os fatores externos característicos da região.

Dentre os fatores possíveis a serem utilizados no processo produtivo Ferreira *et al.* (2006) determinam que no caso específico do Ceará a produtividade agrícola é intensificada com maior proporção com o emprego correto dos fatores terra, capital e trabalho. Além disso, Ferreira *et al.* (2006) ainda destacam que a produtividade desses fatores varia substancialmente a depender do contexto geográfico ou do tipo de cultura produzida.

Tendo em vista essas considerações, abre-se um questionamento sobre o quão eficiente é o emprego dos fatores de produção do setor agrícola cearense e o quanto essa característica varia a depender do tempo e localização geográfica no Estado.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo verificar os níveis de produtividade dos fatores de produção empregados no setor agrícola no Estado do Ceará. Além disso, a pesquisa busca identificar o comportamento da produtividade agrícola do Estado do Ceará no decorrer do tempo, tendo em vista diferentes unidades de espaço pertencentes ao referido Estado.

Para tanto, o trabalho que se segue é subdividido em cinco sessões, sendo elas, a primeira, já exposta, referente à parte introdutória; a segunda, que se segue, a qual dispõe da revisão de literatura, responsável pela fundamentação teórica do estudo; a terceira, onde são expostos os materiais e métodos utilizados; a quarta, onde são expostos os resultados encontrados com o método empregado, e a última sessão, referente às conclusões.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PRODUTIVIDADE NO SETOR AGRÍCOLA

Ao longo das últimas décadas, a produtividade dos fatores do setor agrícola brasileiro vem atingindo altas taxas de crescimento. Para que esse resultado fosse possível pode-se considerar alguns determinantes como, por exemplo, os investimentos públicos em pesquisas voltadas para o desenvolvimento da agricultura, investimentos em infraestrutura logística e de transporte, aprimoramento técnico produtivo e a desagregação da produção para áreas além do Sul e Sudeste brasileiro (HELFAND; MAGALHÃES; RADA, 2015).

Em um estudo sobre a produtividade dos fatores de produção da agricultura brasileira no decorrer dos últimos anos, Freitas (2014) determina que ao longo do processo de dinamização do setor agrícola, os números da produtividade dos fatores no Brasil não foram uniformes entre as regiões, nem homogêneos entre as culturas. Porém, Freitas (2014) ainda destaca que este fenômeno, entretanto, não impediu bons resultados agregados no cotejo com demais países em processo de desenvolvimento.

Almeida *et al.* (2008) utilizam uma metodologia de caráter espacial para verificar a existência de convergência da produtividade agrícola nos municípios do Brasil no período de 1991 a 2003. A partir desse procedimento observou-se no trabalho descrito que a produtividade da terra apresenta uma situação de autocorrelação espacial, dependendo, portanto, da produtividade de municípios vizinhos. Além disso, Almeida *et al.* (2008) concluem que a produtividade média está diminuindo de forma extremamente lenta durante os anos, colaborando para o aumento das disparidades regionais.

De acordo com a perspectiva de Carvalho e Barreto (2006), o setor agrícola é uma área de característica bastante adversas do ponto de vista da adaptação e intensificação da produtividade. Entretanto, a partir de um modelo de aprendizagem voltado para a agricultura brasileira, os autores concluem que os ganhos de produtividade na agricultura podem não reduzir o crescimento da economia, de forma que não existe necessariamente uma relação negativa entre produtividade agrícola e crescimento econômico.

Araújo e Mancal (2015) fazem uma avaliação da produtividade e da eficiência produtiva no setor agropecuário na região Nordeste do Brasil. Usando um painel com dados de 1970 a 1995, os referidos autores mensuram um índice de produtividade dos fatores e analisam a eficiência das firmas agropecuárias por meio de um método de fronteira estocástica característico para os dados em painel. Com isso, Araújo e Mancal (2015) puderam concluir que o fator trabalho é o mais importante para a obtenção de uma eficiência técnica satisfatória no setor estudado.

De acordo com a perspectiva de Lopes *et al.* (2012), a agricultura é um setor que está em constante transformação. Esse fato faz com que os estabelecimentos agrícolas tenham seus processos produtivos reformulados em um curto espaço de tempo, para que se possa adequar os meios de produção aos avanços tecnológicos e as novas técnicas que surgem constantemente. Sendo assim, os estabelecimentos que não acompanham esse processo ficam estagnados, gerando uma disparidade produtiva e, conseqüentemente, forçando a sua saída do mercado.

No tocante à região Nordeste, Castro (2013) indica que a agricultura nessa região é muito variada, seja com relação às culturas plantadas, seja com relação a aspectos como o nível de tecnologia empregada na produção agrícola. Levando em consideração as heterogeneidades climáticas da região e considerando a variabilidade citada, a produtividade dos fatores, em consequência, também apresenta uma característica heterogênea a depender do local e da cultura produzida.

Apesar das dificuldades impostas pelo problema climático para a agricultura na região Nordeste, a produtividade desse setor apresentando taxas satisfatórias de crescimento. Como destaque desse acontecimento, observa-se que no estado do Ceará, a produtividade do setor agrícola auferiu maiores taxas de crescimento a partir da década de 1970, com a implantação de políticas públicas voltadas para a adequação das atividades agrícolas ao fator climático, como por exemplo, no caso da criação dos perímetros irrigados no estado (FERREIRA *et al.*, 2006).

Santos e Braga (2013) analisam os impactos do crédito rural sobre a produtividade da terra e do trabalho nas grandes regiões brasileiras. Utilizando dados provindos do Censo Agropecuário, os autores indicam que o crédito não foi efetivo para aumentar a produtividade dos fatores no setor agrícola, exceto para a região Nordeste do Brasil. Além disso, o referido estudo ainda destaca que as políticas de crédito e as políticas públicas de crédito subsidiado devem ser mais bem monitoradas e acompanhadas para promover um melhor desempenho aos agricultores beneficiados.

Bragagmolo e Barros (2015) indicam que à medida que a produtividade total dos fatores de produção do setor agrícola cresce o trabalho diminui. Tal fato é provindo consubstancialmente das inovações tecnológicas constantes as quais o setor está subordinado. Além disso, os autores descritos indicam que a elevação da produção agrícola para além dos valores esperados quase sempre está ligado ao intensivo ganho de produtividade do setor.

## 2.2 A EFICIÊNCIA PRODUTIVA

A eficiência produtiva em um determinado setor ocorre no ponto em que uma determinada firma consegue uma produção ótima em vista das suas restrições. Os métodos de análise de eficiência determinam

esse conceito sobre uma série de restrições, podendo o objetivo destas ser a maximização de um determinado fator, como a produção ou o lucro; ou a minimização, como é o caso dos custos (PIANTO *et al.*, 2009).

O estudo da eficiência produtiva detém na literatura uma diversidade de abordagens. O estudo de Araújo e Mancal (2015) usa uma ferramenta conhecida como fronteira estocástica para mensurar a eficiência na produtividade da agropecuária na região Nordeste do Brasil. Já o estudo desenvolvido por Carmo e Távora (2003) utiliza a Análise Envoltória de Dados (DEA) para o grau de eficiência técnica de vinte e seis empresas estaduais de saneamento.

Já o estudo desenvolvido por Souza (2006) concilia as técnicas de fronteira estocástica e Análise Envoltória de Dados a fim de verificar a significância dos fatores nível da geração de fundos para pesquisa externamente ao Tesouro Nacional, ações de parceria, qualidade técnica dos projetos de pesquisa, satisfação dos clientes, mudança administrativa, tipo e tamanho, na eficiência técnica de produção dos centros de pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Marinho e Bittencourt (2007) utilizam uma fronteira estocástica para dados em painel para analisar o desempenho da produtividade total de fatores e discutir a experiência de crescimento econômico na América Latina. Além disso, o referido estudo utiliza a análise envoltória de dados para construir o índice de produtividade total de Malmquist. A partir desse procedimento, os autores efetuam uma decomposição do crescimento da produtividade em dois componentes: variação tecnológica e variação de eficiência técnica.

Carrer e Souza Filho (2016) utilizam dados em corte transversal para estimar uma fronteira estocástica formulada sobre uma função de custos a fim de investigar a existência de economias de escala e ineficiência de custo na produção de laranja no estado de São Paulo. A partir desse procedimento, os autores puderam identificar a existência de significativas economias de escala para níveis baixos e médios de produção.

Já o estudo desenvolvido por Gomes *et al.* (2005) utiliza uma Análise Envoltória de Dados para medir a eficiência técnica dos produtores agrícolas do município de Holambra no Estado de São Paulo. Nesse sentido, os autores determinam a área cultivada, o emprego e o uso de máquinas como os inputs do modelo e a renda líquida como o output. A ferramenta metodológica permite determinar o tipo de retorno de escala dos produtores, além de identificar os produtores mais e menos eficientes em termos de alocação dos meios de produção.

Rozano-Pena *et al.* (2012) desenvolvem um estudo buscando avaliar a evolução da produtividade e da eficiência dos gastos com ensino feitos pelos municípios goianos, nos anos de 2005, 2007 e 2009. Para tanto, os referidos autores mensuram o Índice de Produtividade de Malmquist combinado com o método Análise Envoltória de Dados. Os resultados encontrados com essa técnica demonstram que se as redes de ensino mantiverem a dinâmica apresentada no período analisado, o número inicial de estados de eficiência deve ser mantido. Além disso, o Índice de Produtividade de Malmquist demonstrou no referido trabalho que o crescimento da produtividade do setor estudado deu-se principalmente pela variação da eficiência produtiva e das mudanças tecnológicas.

De acordo com a abordagem de Bressan *et al.* (2010), a eficiência produtiva pode ser mensurada levando em consideração a alocação ótima dos recursos seja por meio da ótica da produção, seja por meio da ótica do custo. Em suma, independentemente da função abordada nos métodos de mensuração da eficiência produtiva, essas ferramentas geralmente possibilitam a determinação de firmas mais e menos eficientes, a existência ou não de economias de escala, a evolução intertemporal da eficiência e o comportamento da produtividade dos fatores.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Charnes *et al.* (1978) desenvolveram a metodologia não-paramétrica com o intuito de medir a eficiência das unidades tomadoras de decisão (UTD) no uso de insumos para fabricar determinado produto. Para Ferreira e Gomes (2009) o resultado do DEA é fornecido por meio de programação matemática, no qual são construídas fronteiras de eficiências.

De acordo com Ferreira e Gomes (2009), a eficiência é medida em função da distância da UTD em relação ao nível ótimo de eficiência. Os mesmos autores também destacam as formas de estudar a eficiência que pode ser: técnica ou alocativa. Na eficiência técnica, objetivo da firma é obter o máximo de produto a partir de uma determinada cesta de fatores de produção ou produzir uma quantidade de produtos com o mínimo de insumos. Já a eficiência alocativa busca maximizar o lucro minimizando os custos de produção.

Para a realização da análise desse estudo adotou-se a eficiência técnica. Segundo Alvim, Stülp e Kayser (2015), a eficiência técnica pode ser dividida em duas: eficiência técnica global (ETG) e/ou eficiência técnica local (ETL). Para os autores a ETL desconsidera os retornos de escala, portanto ao mensurar a eficiência leva-se em consideração apenas a distância da UTD da fronteira. Contudo, mesmo trabalhando na fronteira, ou seja, uma firma eficiente, pode haver espaço para aumentar sua produção apenas alterando a escala de produção. Já na ETG a UTD estaria trabalhando na escala ótima de produção.

Os modelos utilizados no processo de análise dos dados são CCR e BCC. Desse modo, a ETG será feita usando o modelo proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) CCR que conceitua a eficiência levando em consideração o retorno constante de escala. Já para análise da ETL utilizou-se o modelo de Banker, Charnes e Cooper (1984) que considera os retornos variáveis de escala.

Conforme relatam Coelli *et al.* (1998), o modelo de CCR por ser descrito pela seguinte fórmula matemática:

$$\begin{aligned} & \text{MIN}_{\theta, \lambda} \theta \\ \text{Sujeito a: } & -y_i + Y\lambda \geq 0 \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \tag{1}$$

A variável  $\theta$  representa a eficiência da  $i$ -ésima UTD. O valor de  $\theta$  pode variar entre 0 e 1. Caso, o valor encontrado seja 1 a firma será considerada eficiente, caso contrário, ineficiente. O  $\lambda$  é o vetor de constantes  $n \times 1$ , em que os valores são calculados para achar a solução ideal. Quando a UTD é eficiente esse parâmetro apresenta valor zero. Caso contrário, os valores obtidos para  $\lambda$  serão pesos usados na combinação linear das outras UTD eficientes que afetam a projeção da UTD ineficiente sobre a fronteira calculada Ferreira e Gomes (2009). A variável  $y_i$  representa o vetor quantidade de produtos ( $m \times 1$ )  $i$ -ésima UTD. Já o  $Y$  corresponde a matriz de produto e  $X$  é a matriz de insumos, ambos apresentam dimensões de  $(n \times m)$  e  $(n \times K)$ , respectivamente. Para Coelli *et al.*, (1998) o problema de programação linear deve ser resolvido  $n$  vezes, referindo a sua resolução para cada UTD, já que  $\theta$  deve ser encontrado para cada UTD.

Contudo, o modelo de CCR é válido na situação em que todas as firmas estejam operando em escala ótima, o que nem sempre acontece. Portanto, para resolver esse problema será adotado o modelo BCC. Coelli *et al.* (1998) descreve que a utilização do modelo BCC possibilita o cálculo da eficiência sem causar problema de eficiência de escala.

Para isso, é necessário refazer o modelo de CCR agora, porém, adicionando uma restrição de convexidade. A equação para retornos variáveis a escala é descrita na seguinte fórmula matemática:

$$\begin{aligned} & \text{MIN}_{\theta, \lambda} \theta \\ \text{Sujeito a: } & -y_i + Y\lambda \geq 0 \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ & N_1\lambda = 1 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \tag{2}$$

Por meio do cálculo do modelo CCR e BCC serão feitas, também, uma análise da eficiência considerando a escala empregada no processo produtivo, chamada de eficiência de escala (ES). A ES é indicada pela razão entre  $ES = \frac{CCR}{BCC}$ . Portanto, a eficiência de escala será feita pela divisão dos escores de eficiências criados no modelo CCR pelo os escores do modelo BCC.

Quando a orientação dos modelos, que podem ser orientados via *inputs* ou *outputs*, optou-se pela escolha da orientação feita por meio dos *inputs* dando destaque a redução dos insumos, sem, no entanto, alterar o nível de produção.

### 3.2 ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE DE MALMQUIST

Para responder a problemática descrita na parte introdutória, o presente trabalho faz uso do índice de produtividade de Malmquist (1953). A construção desse índice parte de uma função distância medida pela fronteira de possibilidade de produção de cada firma, de forma que essa função distância pode ser orientada pelos *inputs* ou pelos *outputs* das firmas (COELLI *et al.*, 1998).

Dessa forma, considerando que a função distância é orientada pelos *outputs*, essa função será descrita como:

$$d_0(x, q) = \inf\{\delta: (q|\delta) \in p(x)\} \quad (3)$$

De forma que, a função distância possui valor 1 se  $q$  estiver localizado sobre a fronteira de possibilidade de produção da firma, e receberá um valor maior se  $q$  estiver fora do conjunto factível de produção. De forma análoga, a função distância receberá um valor inferior a um caso  $q$  seja um elemento do conjunto de produção  $p(x)$  (ARAÚJO; ARAÚJO, 2015).

Nesse sentido, a função distância utilizada fornecerá o valor atribuído ao município que utiliza o nível de insumo  $x$  no período  $t$  para produzir o produto  $qt$ , correspondente à razão entre a distância do produto  $qt$  do  $i$ -ésimo município e a fronteira de produção. Essa relação é dada por:

$$d_0^t(x_t, q_t) = q_t / F(x_t) \quad \text{em que} \quad F(x_t) = \max\{q_t: (x_t, q_t) \in P(x)\} \quad (4)$$

De maneira que  $F(x_t)$  indica a produção máxima na qual pode ser obtida dada a tecnologia e o nível de insumo dado.

A grande vantagem do uso do índice de Malmquist é a possibilidade de que a produtividade total seja decomposta nos índices de variação de eficiência e variação tecnológica. De acordo com Coelli *et al.* (1998) usando o período  $t$  como referência, a mudança na Produtividade Total dos Fatores (PTF) dada uma variação tecnológica entre os períodos  $t$  e  $s$  é dada por:

$$m_0^t(q_s, x_s, q_t, x_t) = \frac{d_0^t(q_t, x_t)}{d_0^t(q_s, x_s)} \quad (5)$$

Caso o período de referência utilizado seja o período  $s$  tem-se:

$$m_0^s(q_s, x_s, q_t, x_t) = \frac{d_0^s(q_t, x_t)}{d_0^s(q_s, x_s)} \quad (6)$$

Sendo que em, que  $d_0^t(q_t, x_t)$  representa a função distância orientada pelo *output* no período  $t$ , e  $d_0^s(q_t, x_t)$  representa a função distância orientada pelo *output* no período  $s$ . Dessa forma, o índice de Malmquist pode ser reescrito a fim de se obter a Variação da Eficiência Técnica (VET) e a Variação Técnica (VT). Assim, o índice pode ser reescrito como:

$$VET = \frac{d_0^t(q_t, x_t)}{d_0^s(q_s, x_s)} \quad \text{e} \quad VT = \left[ \frac{d_0^s(q_t, x_t)}{d_0^s(q_s, x_s)} \times \frac{d_0^t(q_t, x_t)}{d_0^t(q_s, x_s)} \right] \quad (7)$$

### 3.3 BASE DE DADOS

Os dados utilizados no presente trabalho englobam informações sobre a produção agrícola das sete mesorregiões do estado do Ceará entre os anos de 2008 a 2012. O período descrito foi escolhido por possuir informações mais atuais sobre o crédito rural, o qual é utilizado para a obtenção da produtividade dos fatores na agricultura cearense. As variáveis utilizadas, assim como sua descrição e fonte de obtenção estão esboçadas no Quadro 1.

**Quadro 1** – Descrição das variáveis utilizadas

Variável	Descrição	Fonte
<i>Valprod</i>	Valor da produção agrícola, computado por meio da soma dos valores das produções de lavouras permanentes e temporárias.	SIDRA
<i>Áreap</i>	Área plantada, computado por meio da soma das áreas (em hectares) plantadas nas lavouras permanentes e temporárias.	SIDRA
<i>Áreac</i>	Área colhida, computado por meio da soma das áreas (em hectares) colhidas nas lavouras permanentes e temporárias.	SIDRA
<i>Custeio</i>	Valor do crédito rural (Em reais de dezembro de 2016) concedido para o custeio de atividades agrícolas.	IPECE
<i>Inv</i>	Valor do crédito rural (Em reais de dezembro de 2016) concedido para o investimento em atividades agrícolas.	IPECE
<i>Mo</i>	Quantidade de vínculos trabalhistas (Permanentes e temporários) em atividades agrícolas.	RAIS

Fonte: Elaboração dos autores.

As variáveis são providas do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) e do Relatório Anual de Informações Socioeconômicas do Ministério do Trabalho e Emprego brasileiro (RAIS). Todos os valores monetários utilizados no presente trabalho estão em unidades monetárias (R\$) e os mesmos foram atualizados pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) para valores em reais de dezembro de 2016.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

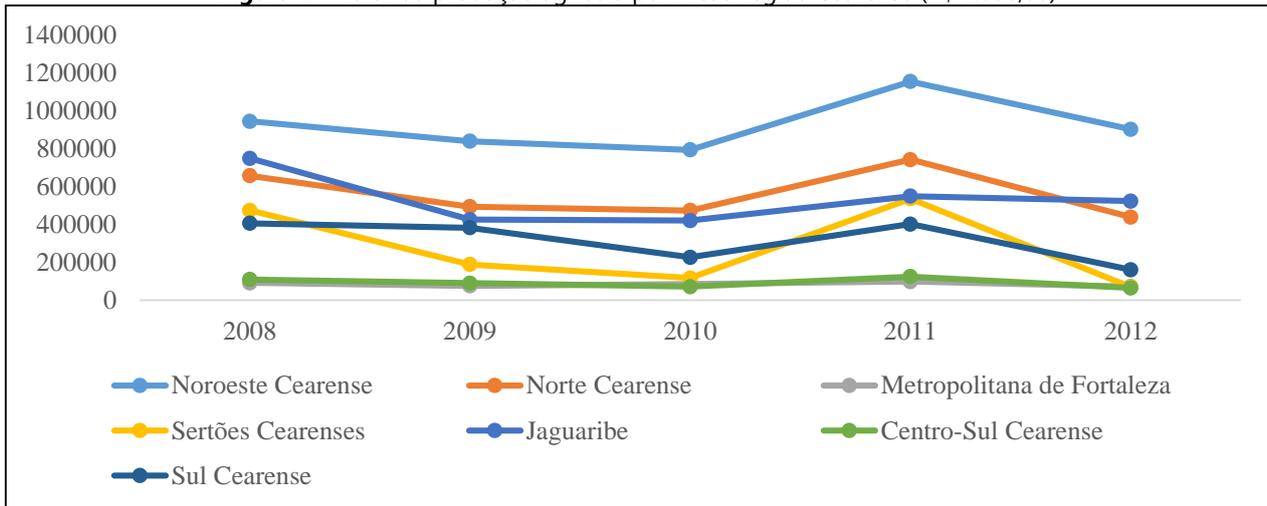
Conforme a Tabela 1, que trata da estatística descritiva, os valores obtidos para as médias, desvios padrões, mínimos e os máximos estão relacionados com os seus devidos *inputs* e *outputs*. Entre variáveis independentes, vale destacar a situação do crédito para investimento, utilizados para compra de máquinas e equipamentos, que possui a maior média, 5897779,4; nesse caso fica evidenciado como um elemento de fundamental importância para um possível incremento da produção.

**Tabela 1** – Estatísticas descritivas das variáveis

Variáveis	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
<i>Val_prod</i>	35	398510150	3,04e+8	6,47e+07	1,15e+09
<i>Area_p</i>	35	276458,6	181290,8	53132	531089
<i>Área_c</i>	35	272560,3	179590,8	53132	531089
<i>Invest</i>	35	589779,4	449833,1	84034,56	1600497
<i>Custeio</i>	35	403580,8	403580,8	69156,41	833148,9
<i>Mo</i>	35	5644,286	5644,286	182	1600497

Fonte: Resultados da pesquisa.

A produção agrícola nos estados do Nordeste brasileiro caracteriza-se por apresentar uma grande variação a depender do período analisado. No que diz respeito ao estado do Ceará, essa variação apresenta uma ligação com o fluxo climático anual, de forma que a produção agrícola pode variar em diferentes áreas. A Figura 1 apresenta o valor da produção agrícola para as mesorregiões cearenses de 2008 a 2012. Observa-se que a produção apresenta uma intensa heterogeneidade, variando anualmente a depender da mesorregião analisada. Esse fato pode ser advindo das condições climáticas de cada área, assim como, pode ser provida da distribuição da produtividade dos fatores utilizados na produção agrícola.

**Figura 1** – Valor da produção agrícola por Mesorregião Cearense (R\$ 1.000,00)

Fonte: Elaboração dos autores.

Para entender essa variabilidade produtiva anual e suas ligações com os fatores produtivos, utilizou-se o DEA de modelos CCR e BCC orientado pelo *input*, além disso, foi realizada uma análise de eficiência de escala. Dessa forma, buscou-se identificar as mesorregiões que melhor utilizavam os fatores produtivos. Conforme a Tabela 2 é possível observar que a mesorregião Noroeste obteve o menor escore de eficiência quando comparada com as demais regiões. Nesse caso, a localidade deve reduzir a utilização dos fatores produtivos em 17% e permanecer no mesmo nível de produção para se tornar eficiente. Entretanto, vale salientar que foi possível identificar, entre as firmas analisadas, duas unidades que poderão ser utilizadas como modelo, *benchmarking*.

Cabe ainda destacar o caso da mesorregião Centro-Sul do Ceará, que apesar de apresentar uma média de eficiência acima de 0,90; só foi possível encontrar dois *benchmarking*, enquanto que a mesorregião Norte, que apresentou escores médios de eficiência de 0,95, apresentou três unidades tomadoras de decisão (UTD). O Sul foi a localidade que apresentou melhores resultados indicando que essa pode ser a UTD referencial para as outras mesorregiões.

**Tabela 2** – Análise envoltória de dados de retornos constantes utilizando o tempo como firmas

Valores	Noroeste	Norte	Metropolitana	Sertões	Jaguaribe	Centro-Sul	Sul
	CRS	CRS	CRS	CRS	CRS	CRS	CRS
Mínimo	0,83	0,84	0,88	0,84	0,80	0,88	0,93
Máximo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Média	0,92	0,95	0,97	0,95	0,93	0,95	0,98
Eficiente	2	3	3	3	3	2	3

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os valores encontrados para o retorno variável mostram que houve uma melhora de eficiência nas unidades produtivas. Em todos os casos, ficou constatada uma melhoria de eficiência. A melhora dos escores aconteceu por que o modelo BCC considera as diferenças de escala de produção e não levar em consideração existência de ineficiência de escala (FERREIRA E GOMES, 2009). Além disso, conforme relata Seiford e Zhu (1999) todas as UTD que são consideradas tecnicamente eficientes no modelo CCR também serão consideradas eficientes no modelo BCC.

Conforme a Tabela 3, as mesorregiões Norte e Sul apresentaram alterações quanto aos escores de eficiência. No modelo de retorno constante a UTD Sul apresentava a maior média de eficiência, podendo até mesmo se considerada uma *benchmarking*, no entanto, no modelo BBC a nova UTD referencial passa a ser mesorregião Metropolitana.

Para mesorregião Noroeste, que obteve o pior valor de eficiência, fica evidenciado que houve um ganho de eficiência de 7,00%. Segundo Ferreira e Gomes (2009) o crescimento de eficiência quando ocorre a mudança de modelo (ou seja, do CCR para BCC) implica que há ineficiência de escala, que nesse caso atinge 60% UTD da mesorregião Noroeste. Além disso, destaca-se também o ganho de eficiência para os valores de escores mínimos como é caso das mesorregiões Sertão, Jaguaribe e Centro-sul que no modelo CCR apresentavam eficiência mínima abaixo de 0,90.

**Tabela 3** – Análise envoltória de dados de retornos variáveis utilizando o tempo como firmas

	Noroeste	Norte	Metropolitana	Sertão	Jaguaribe	Centro-sul	Sul
	BCC	BCC	BCC	BCC	BCC	BCC	BCC
Mínimo	0,97	0,97	1,00	0,90	0,90	0,98	0,97
Máximo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Média	0,99	0,99	1,00	0,98	0,98	0,99	0,99
Eficiente	3	4	5	4	4	4	4

Fonte: Elaboração dos autores.

Na Tabela 4, a eficiência de escala trata da razão entre eficiência técnica de retorno constante e retornos variáveis. Portanto, a UTD será considerada eficiente se estiver operando em escala ótima. No entanto, cabe lembrar que o conceito ótimo de escala utilizado no presente estudo refere-se ao retorno constante à escala. Novamente, é possível observar que assim como no modelo CCR a Mesorregião Sul apresenta o maior escore de eficiência.

**Tabela 4** – Análise envoltória de dados de retornos de escala utilizando o tempo como firmas

	Noroeste	Norte	Metropolitana	Sertão	Jaguaribe	Centro-sul	Sul
	ES	ES	ES	ES	ES	ES	ES
Mínimo	0,85	0,87	0,88	0,91	0,88	0,88	0,93
Máximo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Média	0,92	0,95	0,97	0,96	0,95	0,95	0,98
Eficiente	2	3	3	3	3	3	3

Fonte: Elaboração dos autores.

Na Tabela 5 está exposto os escores de eficiência para retornos variáveis e a natureza dos retornos das UTD's. É possível constatada que 76,67% das firmas atingiram os 100% de eficiência. As mesorregiões que mais se destacaram foram: Jaguaribe, Norte, Sertão, Sul e Centro-sul. Contudo, as mesorregiões Jaguaribe e o Sertões Cearenses, apesar de apresentarem apenas uma UTD abaixo dos 100%, foram às localidades que apresentaram os piores escores de eficiência. Observando a natureza dos retornos foram contabilizados apenas 53,33% das firmas que tinham atingido a fronteira de eficiência apresentavam retorno constante, ou seja, essas firmas mostravam uma perfeita relação de equilíbrio entre *inputs* e *output* operando em suas capacidades máximas.

**Tabela 5** – Valores de eficiência e natureza dos retornos de cada UTD

Mesorregião	UTD	Eficiência	Natureza dos retornos	Mesorregião	UTD	Eficiência	Natureza dos retornos
	2008	1,0000	Constante		2008	1,0000	Constante
	2009	0,9000	Crescente		2009	0,9060	Crescente
Jaguaribe	2010	1,0000	Crescente	Sertão	2010	1,0000	Crescente
	2011	1,0000	Constante		2011	1,0000	Constante
	2012	1,0000	Constante		2012	1,0000	Constante
	2008	0,9842	Constante		2008	1,0000	Constante
	2009	0,9711	Constante		2009	0,9732	Crescente
Noroeste	2010	1,0000	Crescente	Sul	2010	1,0000	Crescente
	2011	1,0000	Constante		2011	1,0000	Constante
	2012	1,0000	Constante		2012	1,0000	Constante
	2008	1,0000	Constante		2008	0,9830	Constante
	2009	0,9734	Crescente		2009	1,0000	Crescente
Norte	2010	1,0000	Crescente	Centro-Sul	2010	1,0000	Crescente
	2011	1,0000	Constante		2011	1,0000	Constante
	2012	1,0000	Constante		2012	1,0000	Constante

Fonte: Elaboração dos autores.

Segundo Carvalho *et al.* (2006), quando as unidades tomadoras de decisão alcançam o escore máximo de eficiência (ou seja, trabalhando na fronteira de produção) e operam sobre retornos constantes, significa que essas UTD's atingiram o nível que deve ser seguido pelas demais UTD's, logo, os anos que apresentaram retornos constantes devem ser utilizados como referências para os demais anos em que não foi possível alcançar o 100% de eficiência.

Para as UTD's que foram classificadas como retorno crescente essas unidades operam em uma faixa "subótima", logo, estão abaixo da faixa ótima, nesse caso é necessário incrementar a produção por meio do aumento do uso de insumo com isso será possível aumentar a produção.

A Tabela 6 trata dos resultados das variações de eficiência técnica (VET) e variação tecnológica (VT) para as mesorregiões cearenses obtidas por meio do cálculo do Índice de Malmquist<sup>1</sup>. Os valores obtidos para VET mostram que os acréscimos na variação de eficiência ocorreram principalmente nos anos de 2010 e 2011. Observa-se que o maior ganho de eficiência técnica foi obtido pela mesorregião Jaguaribe no ano de 2010, enquanto o menor ganho foi representado pela perda de 3,51% da eficiência técnica da mesorregião Sertões Cearenses em 2012.

<sup>1</sup> Os resultados expostos na Tabela 6 foram obtidos por meio de uma estimação orientada pelo *output*. A título de comparação, o presente trabalho disponibiliza a Tabela 1 em anexo, a qual contém uma estimação orientada pelo *input*.

**Tabela 6** – Variação da eficiência técnica (VET) e variação tecnológica (VT) para as mesorregiões cearenses

VET							
	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07
2008	0	0	0	0	0	0	0
2009	-0,0002	-0,0108	-0,0119	-0,0269	-0,0089	-0,0074	-0,0006
2010	0,0083	0,0063	0,0095	0,0023	0,0173	0,0116	0,0135
2011	-0,0005	0,0074	-0,0036	0,0284	0,0049	0,0111	-0,0003
2012	0,0074	-0,0033	-0,0074	-0,0351	0,0021	-0,0006	0,0077
VT							
	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07
2008	0	0	0	0	0	0	0
2009	-0,0002	-0,0108	-0,0147	-0,0269	-0,0089	-0,0078	0,0006
2010	0,0083	0,0063	0,0123	0,0023	0,0173	0,0099	0,0078
2011	-0,0005	0,0074	-0,0036	0,0284	0,0049	0,0085	0,0004
2012	0,0074	-0,0033	-0,0074	-0,0035	0,0021	-0,0012	0,0016

Nota: D01 = Noroeste Cearense; D02 = Norte Cearense; D03 = Metropolitana de Fortaleza; D04 = Sertões Cearenses; D05 = Jaguaribe; D06 = Centro-Sul Cearense; D07 = Sul Cearense.

Fonte: Elaboração dos autores.

Comparando os resultados da VET e da VT com a produção anual disposta na Figura 1, é possível notar que a queda nas eficiências técnica e tecnológica ocorreram especificamente em períodos de queda de produção, indicando uma relação de causalidade entre eficiência técnica, tecnológica e produção agrícola. Portanto, se o intuito é elevar o valor da produção agrícola, faz-se necessário a aplicação de medidas que incentivem os ganhos de eficiência técnica e tecnológica desse setor.

É possível verificar uma intensa variabilidade com respeito a VT, de forma que, considerando o ano de 2010, todas as sete mesorregiões apresentaram progresso em relação ao ano anterior, o que indica um deslocamento para a direita da fronteira de produção dessas mesorregiões. Entretanto a VT é negativa para a maioria das mesorregiões estudadas em 2009 e 2012. Pode-se destacar alguns motivos para a variabilidade técnica e tecnológica indicada na Tabela 6. Aspectos como a flutuabilidade climática e o baixo nível de informação, ambos não incorporados nas estimações, podem interferir na produtividade dos fatores. Contudo, a variação negativa para o ano de 2009 pode ser dada principalmente pela instabilidade política-institucional enfrentada pelo período e pelas implicações no mercado de crédito provindos dos efeitos da crise econômica de 2008.

É importante esclarecer que a existência de novos métodos de produção agropecuária está associada aos níveis de investimento e custos bem como na qualificação de capital humano. Com isso é possível adotar novas técnicas agrícolas. É provável que as regiões que tiveram os melhores resultados estejam funcionando associadas a centros de pesquisas agrícolas e institutos que qualificariam o capital humano.

Cabe destacar também que o estudo desenvolvido por Araújo e Araújo (2015) apresentou ganhos de produtividade referentes às eficiências técnica e tecnológica para as mesorregiões cearenses. Entretanto os autores descritos utilizam dados dispostos nos anos 1970, 1975, 1980, 1985, 1995 e 2006, não incorporando as variações delimitadas pelo crédito rural aos produtores. Nesse sentido, uma estimacão com uma ordem subsequente de períodos de tempo como aqui formulada, pode informar de maneira mais coerente as variações intertemporais dos fatores determinantes da produção agrícola.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou verificar os níveis de produtividade dos fatores de produção empregados no setor agrícola no estado do Ceará. Além disso, a pesquisa procurou identificar o comportamento da produtividade agrícola do estado do Ceará no decorrer do tempo, considerando o período de 2008 a 2012.

Para responder a problemática seguida e alcançar os objetivos aqui formulados, a pesquisa utilizou ferramentas matemáticas fundamentadas na programação linear. Utilizou-se a Análise Envoltória de Dados para verificar a eficiência no emprego dos fatores de produção agrícola das mesorregiões cearenses. Além disso, verificou-se os níveis de variação técnica e tecnológica por meio do cálculo do Índice de Malmquist.

A partir da Análise Envoltória de Dados foi possível verificar que houve uma evolução temporal da eficiência no uso dos fatores de produção, de modo que, essa eficiência apresenta uma considerável variação a depender da mesorregião analisada. Verificou-se ainda que as mesorregiões Centro-Sul, Norte, e Sul apresentaram as maiores quantidades de unidades tomadoras de decisão, sendo a última, constatada como a UTD referencial para as outras mesorregiões.

Por meio do cálculo do Índice de Malmquist, constatou-se uma flutuação nos níveis de variação técnica e variação tecnológica das mesorregiões cearenses. 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 nos anos de 2009. Além disso, verificou-se que os aumentos na quantidade produzida da agricultura cearense estão associados aos ganhos de variação da eficiência técnica e tecnológica desse setor.

Por fim, conclui-se que para que ocorra uma elevação do valor da produção agrícola nas mesorregiões cearenses, faz-se necessário a aplicação de medidas que incentivem os ganhos de eficiência técnica e tecnológica dos produtores desse setor.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. S.; PEROBELLI, F. S.; FERREIRA, P. G. C. Existe convergência espacial da produtividade agrícola no Brasil? **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, n. 1, p. 31-52, mar. 2008.
- ALVIM, A. M.; STÜLP, V. J.; KAYSER, V. H. Análise da eficiência técnica nas lavouras de arroz no Rio Grande do Sul. **Redes** (St. Cruz Sul, Online), v. 20, n. 2, p. 158-175, maio/ago. 2015.
- ARAÚJO, J. A.; MANCAL, A. Produtividade e eficiência no setor agropecuário do Nordeste brasileiro. **Revista Interações**. Campo Grande, v. 16, n. 2, p. 385-394, jul./dez. 2015.
- ARAÚJO, W. B.; ARAÚJO, J. A. Produtividade, variação da eficiência técnica e tecnológica na agricultura dos municípios cearenses. **Revista Interações**, Campo Grande, MS, v. 17, n. 2, p. 223-233, abr./jun. 2016.
- BARROS, E. S.; COSTA, E. F.; SAMPAIO, Y. Análise de eficiência das empresas agrícolas do polo Petrolina/Juazeiro utilizando a fronteira paramétrica Translog. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 4, p. 597-614, dez. 2004.
- BRAGAGNOLO, C.; BARROS, G. S. C. Impactos dinâmicos dos fatores de produção e da produtividade sobre a função de produção agrícola. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 1, p. 31-50. 2015.
- BRESSAN, V. G. F.; BRAGA, M. J.; BRESSAN, A. A. Eficiência e economia de escala em cooperativas de crédito: uma abordagem de fronteira estocástica de custo com dados em painel. **Advances in Scientific and Applied Accounting**, v. 3, n. 3, p. 335-352, 2010.
- CARMO, C. M.; TÁVORA JÚNIOR, J. L. Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 31., 2003. **Anais [...]**. Porto Seguro, Ba, 2003.
- CARRER, M. J.; SOUZA FILHO, H. M. Economias de escala e eficiência econômica na produção de laranja no Estado de São Paulo. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 1, p. 51-70, 2016.

- CARVALHO, R. M.; BARRETO, F. A. F. D. Produtividade agrícola e crescimento econômico. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 60, n. 1, p. 5-19, mar. 2006.
- CASTRO, C. N. A agricultura no Nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, IPEA, n. 08, jul./dez. 2013.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. Some models for estimating technical and scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, p. 1078-1092, 1984.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European journal of operational research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.
- COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. United States of America: Springer, 1998.
- FERREIRA, M. O.; RAMOS, L. M.; ROSA, A. L. T. Crescimento da agropecuária cearense: comparação entre as produtividades parciais e total. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 3, p. 503-524, set. 2006.
- FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009. 389 p.
- FREITAS, R. E. Produtividade agrícola no Brasil. *In*: **Produtividade no Brasil**: desempenho e determinantes. Brasília: ABDI, 2014. p. 373-409.
- GOMES, E. G.; MANGABEIRA, J. A. C.; MELLO, J. C. C. B. S. Análise de envoltória de dados para avaliação de eficiência e caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 43, n. 4, out./dez. 2005.
- HELFAND, S. M.; MAGALHÃES, M. M.; RADA, N. E. **Brazil's agricultural total factor productivity growth by farm size**. IDB Working Paper Series, n. 609, set. 2015.
- IPECE. Agronegócio cearense: um balanço de 2010 e desempenho no 1º trimestre de 2011. **IPECE Informe**, n. 11, jun. 2011.
- MALMQUIST, S. Index number and indifference curves. **Trabajos de Estadística**, v. 4, n. 1, p. 209-42, 1953.
- MARINHO, E.; BITTENCOURT, A. Produtividade e crescimento econômico na América Latina: a abordagem da fronteira de produção estocástica. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 5-33, mar. 2007.
- PIANTO, M. E. T.; SOUSA, M. T. S.; ARCOVERDE, F. D. Fronteiras de eficiência estocásticas para as empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil: uma análise de dados de painel. **Estado e Economia**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 221-247, jan./mar. 2009.
- ROSANO-PENA, C.; ALBUQUERQUE, P. H. M.; DAHER, C. E. Dinâmica da produtividade e eficiência dos gastos na educação dos municípios goianos. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 16, n. 6, p. 845-865, dez. 2012.
- SEIFORD, L.M.; ZHU, J. An investigation of returns to scale in data envelopment analysis. **The International Journal of Management Science**, n. 27, p. 1-11, 1999.
- SILVA, M. T.; NÓBREGA, J. N.; GOMES, O. M.; BRITO, J. I. B. Estudo da relação entre monitoramento climático e a produção agrícola de grãos nos Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n. 02, p. 322-335, 2011.

SOUZA, G. S. Significância de efeitos técnicos na eficiência de produção da pesquisa agropecuária. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 60, n.1, p. 69-86, mar. 2006.

## **SOBRE OS AUTORES**

### **Helson Gomes de Souza**

Graduado em Ciências Econômicas. Mestre em Economia Rural pela Universidade Federal do Ceará, UFC, Brasil. Doutorando em Economia pela Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Brasil.  
Contato: helson.g.souza@gmail.com

### **Kilmer Coelho Campos**

Graduado em Administração de Empresas e Ciências Contábeis. Mestre em Economia Rural pela Universidade Federal do Ceará, UFC, Brasil. Doutor em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil.  
Contato: kilmer@ufc.br

### **Fellipy Augusto Holanda Chaves**

Graduado em Engenharia de Pesca. Mestre em Economia Rural pela Universidade Federal do Ceará, UFC, Brasil. Doutorando em Aquicultura pela Universidade Federal do Rio Grande, FURG, Brasil.  
Contato: fellipychaves@gmail.com