



Revista de Economia e Agronegócio - REA  
ISSN impresso: 1679-1614  
ISSN online: 2526-5539  
Vol. 16 | N. 1 | 2018

**Samuel A. C. Campos<sup>1\*</sup>**

**Alexandre B. Coelho<sup>2</sup>**

**Adriano P. Gomes<sup>3</sup>**

**Leonardo B. de Mattos<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense,  
Instituto de Ciências da Sociedade e  
Desenvolvimento Regional, Campos  
dos Goytacazes, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Economia Rural,  
Viçosa, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Economia, Viçosa,  
Brasil

\* [samuelfcampos@id.uff.br](mailto:samuelfcampos@id.uff.br)

## DETERMINANTES DA EFICIÊNCIA AMBIENTAL DE LONGO PRAZO PARA A PRODUÇÃO LÁCTEA MINEIRA

---

### RESUMO

Este estudo analisou as variáveis relacionadas à eficiência ambiental de longo prazo da produção láctea em Minas Gerais no ano de 2005. A análise de agrupamentos, a análise envoltória de dados e uma regressão quantílica foram utilizadas como métodos de estudo. Os resultados destacaram a predominância do baixo desempenho ambiental da produção láctea e a pequena influência dos mecanismos governamentais na melhoria desse cenário. Entretanto, também indicaram uma provável tendência à elevação da eficiência ambiental, haja vista que ela está associada positivamente ao aumento da produção diária, e a cadeia produtiva se encontra propensa ao crescimento da produção e à redução do número de produtores.

**Palavras-chave:** Eficiência Ambiental; Produção Láctea; Minas Gerais.

---

### ABSTRACT

This study examined the long run environmental efficiency for milk production in Minas Gerais in 2005 and some variables related to this efficiency. The cluster analysis, the data envelopment analysis and the quantile regression were used as methods of analysis. The results highlighted the prevalence of poor environmental performance of milk production and the small improve from government action on production environmental performance. However, results indicated a trend of increasing environmental efficiency, given that this is positively associated with increased daily production. This is true because the supply chain has a tendency to increase daily production and reduce the number of producers.

**Keywords:** Environmental Efficiency; Milk Production; Minas Gerais.

**JEL Code:** D22; Q12; Q50.

Recebido em: 12/05/2017  
Revisado em: 21/08; 16/10/2017  
Aceito em: 19/10/2017

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o impacto ambiental das atividades produtivas agropecuárias tem recebido crescente atenção, tendo em vista seu potencial de degradação do meio ambiente. O que se busca são atividades que tenham bons desempenhos ambiental e econômico<sup>1</sup>.

Para a produção leiteira, tal preocupação é de extrema relevância, uma vez que essa atividade traz como uma de suas consequências o desmatamento, por necessitar de áreas para a formação de pastagens e plantio de culturas para silagem ou feno (MOREIRA; ARAÚJO; FRANÇA, 2006). Além disso, o processo de digestão dos bovinos produz dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e outros gases de efeito estufa<sup>2</sup> (GEE), que são eliminados com os gases respiratórios (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA; CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL - CNPMA, 2006). Ademais, segundo Cederberg e Mattsson (2000), um dos principais efeitos da produção animal sobre o meio ambiente é a poluição por nitrogênio via lixiviação de nitratos e volatilização de amônia, provenientes do uso de fertilizantes e dos dejetos dos animais.

Acrescenta-se, ainda, o potencial de poluição dos recursos hídricos e do solo pelos dejetos produzidos pelo gado (*Bos taurus*) e seus constituintes minerais. A urina do gado e o estrume possuem grande quantidade do nitrogênio consumido pelos animais, entre 60 a 90%. Considerando que cada vaca animal urina de 10 a 12 vezes ao dia em uma área de 0,5 a 0,7 m<sup>2</sup>, essa quantidade seria equivalente à aplicação de 1 tonelada de nitrogênio por hectare (DI, CAMERON, 2000; 2002). A perda de nitrato (NO<sub>3</sub>) das pastagens, segundo Silva et al. (2005), é a principal causa de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, que aumenta à medida que fertilizantes são aplicados. Ademais, as emissões de nitrogênio no meio ambiente têm recebido pouca atenção e estariam acima da capacidade de resiliência dos ecossistemas, segundo Rockström et al. (2009).

O problema com a poluição pelo nitrogênio é importante na medida em que inclui alterações químicas e ecológicas nos sistemas aquáticos, o que coloca em risco a vida vegetal e dos peixes, diminuindo a pesca, e podendo também contaminar as águas subterrâneas, comprometer o valor estético e recreativo da água e contribuir para a formação da chuva ácida

---

<sup>1</sup> Desempenho econômico, neste estudo, é entendido como a capacidade de uma atividade produtiva gerar o maior lucro possível, dado um determinado uso de insumos. Já desempenho ambiental é entendido como a razão entre a menor emissão de nitrogênio possível (obtida dentre as propriedades da amostra) sobre a quantidade de nutriente efetivamente emitida (observada) pela propriedade rural em análise, de forma semelhante ao conceito tratado por Coelli, Lauwers e Van Huylenbroeck (2007), Ramilan (2008) e Ramilan, Scrimgeour e Marsh (2011).

<sup>2</sup> A pecuária leiteira também gera gases de efeito estufa pelo manejo do solo e desmatamento, utilização de combustíveis fósseis, etc. Entretanto, segundo Zen et al. (2008), apesar de a pecuária leiteira ser responsável pela emissão de aproximadamente 1mg de CO<sub>2</sub> equivalente/ha, essa atividade apresenta um elevado potencial de sequestro, que pode atingir 0,78 mg de CO<sub>2</sub> equivalente/ha, por meio do correto manejo das pastagens.

(REINHARD; LOVELL; THIJSSSEN, 1999; DI; CAMERON, 2000; RAMILAN, 2008; VITOUSEK et al., 2009).

Apesar desses problemas, poucos trabalhos têm se preocupado com essa questão no Brasil. O enfoque ainda é quase exclusivamente sobre o desempenho técnico e econômico, como abordado por Carvalho (2016), Gomes (1999), Gonçalves et al. (2008) e Helfand e Levine (2004). A análise do desempenho técnico tem utilizado o conceito de eficiência técnica<sup>3</sup>, que se refere à capacidade de uma firma obter a máxima produção, dado um conjunto de insumos. Considerando a orientação insumo, é possível responder qual deveria ser a redução na quantidade utilizada de insumos (por uma firma ineficiente tecnicamente) sem modificar a quantidade produzida. Já a avaliação do desempenho econômico, faz uso da definição de eficiência econômica<sup>4</sup>. Ela trata da minimização do custo da produção e responde qual a redução da quantidade utilizada dos insumos (pelos produtores ineficientes economicamente) necessária para minimizar o custo de produção, sem reduzir a quantidade produzida.

No exterior, entretanto, há um conjunto de trabalhos que enfatiza o desempenho ambiental (AGOSTINO, 2016; COELLI; LAUWERS; VAN HUYLENBROECK, 2007; RAMILAN, 2008; REINHARD; LOVELL; THIJSSSEN, 1999). Neles, o desempenho ambiental tem sido analisado mediante a incorporação de uma variável de poluição à análise, tanto como insumo quanto como “mau” produto, conforme abordado em Piot-Lepetit, Vermersch e Weaver (1997). Todavia, essa abordagem, como destacado por Coelli, Lauwers e Van Huylenbroeck (2007), assume implicitamente a ideia de que a redução da poluição só pode ocorrer por meio do aumento de um ou mais insumos ou por meio da redução de um ou mais produtos. Segundo esses autores, essa pressuposição desconsidera o fato de que uma firma pode alterar sua combinação de insumos de forma a minimizar a poluição e, conjuntamente, diminuir o custo de produção. Essa abordagem também não seria consistente com o balanço de materiais<sup>5</sup>.

Nesse sentido, o presente estudo utiliza o mecanismo de mensuração da eficiência ambiental, proposto por Coelli, Lauwers e Van Huylenbroeck (2007), que sugere que ela seja calculada pela razão da quantidade mínima de nutriente possível sobre a quantidade de nutriente efetivamente emitida pela propriedade rural analisada. Considera-se como impacto ambiental as emissões de nitrogênio comumente usadas na análise do desempenho

---

<sup>3</sup> A eficiência técnica, com a pressuposição de retornos constantes à escala orientada a insumos, pode ser calculada pelo modelo:  $Min_{\lambda, \theta} \theta$ , s.a.  $-y + Y\lambda \geq 0$ ,  $\theta x - X\lambda \geq 0$ ,  $\lambda \geq 0$ , em que “x” denota o vetor de insumos, “y”, o vetor de produção, Y e X são as matrizes de produtos e insumos, e  $\theta$  é um escalar (eficiência técnica).

<sup>4</sup> Essa medida pode ser calculada por meio do problema  $Min_{\lambda, x^*} wx^*$ , s.a.  $-y + Y\lambda \geq 0$ ,  $x^* - X\lambda \geq 0$ ,  $\lambda \geq 0$  em que  $x^*$  é o vetor dos insumos que minimiza o custo total e “w” o vetor de preços.

<sup>5</sup> Ver Coelli, Lauwers e Van Huylenbroeck. (2005; 2007) para a demonstração e maiores detalhes.

ambiental (HOANG, 2011; LANGEVELD et al., 2007; POWELL et al., 2010). Esse indicador permite responder qual deverá ser a redução no uso de insumos (pelos produtores ineficientes ambientalmente) de forma a minimizar as emissões, mantendo a quantidade produzida constante.

Nesse contexto, podemos analisar a eficiência ambiental da produção láctea de Minas Gerais, que é o estado com maior número de estabelecimentos agropecuários dedicados a essa atividade – 223.073 ou 40% do total (IBGE, 2006) –, sendo também o que possuía o maior número de vacas ordenhadas no Brasil – em média 25% do total –, e o maior produtor de leite no período de 1994 a 2015 (IBGE, 2017). Assim, Minas Gerais é o estado mais importante no cenário da produção láctea nacional e, dessa forma, estudos como este são relevantes para avaliar a eficiência ambiental dessa atividade.

Diversas características socioeconômicas e produtivas dos estabelecimentos agropecuários podem influenciar seu desempenho ambiental. Conforme Hardoim e Gonçalves (2003), quanto mais especializado o sistema produtivo, maior é a poluição ambiental, uma vez que raças com características leiteiras tendem a permanecer por mais tempo no curral. Segundo Di e Cameron (2002), a intensidade da produção também pode resultar no aumento das emissões de nitrogênio, em virtude do maior uso de fertilizantes nitrogenados e da maior produção de resíduos. Por sua vez, a melhoria da capacidade dos produtores em administrar a atividade produtiva, por meio de treinamentos e assistência técnica, possibilitaria a adequação da alimentação do rebanho e menores emissões.

A atividade leiteira pode ser classificada, segundo a tecnologia de produção, em produção intensiva ou extensiva. Segundo o SEBRAE/FAEMG (1996) e a FAEMG (2006), os sistemas extensivos são aqueles em que a alimentação é baseada no pastejo com suplementação volumosa na seca, havendo pequena produção, menor produtividade e baixa capitalização. Os sistemas intensivos são aqueles em que o rebanho, composto por animais de raça de aptidão genética para a produção láctea, é confinado com alimentação à base de silagem e ração concentrada, de nível tecnológico mais elevado e maior capitalização, alcançando maior produtividade (FAEMG, 2006).

Nesse sentido, a produção leiteira é caracterizada por grande heterogeneidade, segundo Siqueira et al. (2010). Alguns produtores adotam técnicas modernas, como ordenhadeira mecânica e tanque de resfriamento, com rebanho específico para a produção de leite, alcançando maior produção e produtividade, e obtendo um maior rendimento para a mão de obra contratada e familiar, segundo a FAEMG (2006). Como estratégia para reduzir o risco da atividade, outros produtores (menores e de menor capitalização) possuem rebanho de dupla aptidão (leite e corte), obtendo, conseqüentemente, uma menor produção e baixa produtividade.

Assim, essas características devem ser consideradas no estudo da eficiência ambiental da produção láctea mineira, o que permite relacionar as aptidões das propriedades mais ou menos eficientes e indicar quais aspectos poderiam ser estimulados pelas políticas públicas, aumentando a eficiência ambiental da produção.

O objetivo deste trabalho é calcular a eficiência ambiental de longo prazo da produção láctea mineira no ano de 2005 e analisar a relação entre as características das propriedades e dos produtores, as políticas públicas (crédito rural, assistência técnica, etc.) e a eficiência ambiental de longo prazo. Tem-se como hipótese o pressuposto de que a eficiência ambiental de longo prazo é baixa entre os produtores analisados, uma vez que eles não recebem pela conservação dos recursos naturais e também possuem conhecimentos limitados quanto à quantidade de nitrogênio ingerida pelos animais e seu respectivo potencial de contaminação e degradação ambiental. Espera-se também que os sistemas intensivos apresentem eficiência ambiental menor do que os sistemas extensivos.

O presente artigo inova em relação à literatura supracitada ao analisar a eficiência ambiental da produção láctea do estado de Minas Gerais, maior estado produtor em 2015, utilizando a metodologia proposta por Coelli, Lauwers e Van Huylenbroeck (2005; 2007), que se baseia na abordagem do balanço de materiais. Não há estudos que tratam dessa temática, e trabalhos semelhantes utilizam metodologias não adequadas quando é possível utilizar o balanço de materiais, segundo esses autores. Além disso, a literatura não faz distinção entre eficiência de curto e longo prazo, ponto tratado neste estudo, que calculou a eficiência de longo prazo e também identificou seus determinantes. A seguir, apresenta-se o referencial teórico, seguido da metodologia na seção 3 e da discussão dos resultados na seção 4. A seção 5 expõe as conclusões do artigo, seguidas das referências bibliográficas.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Este estudo utilizou o modelo teórico proposto por Coelli, Lauwers e Van Huylenbroeck. (2005; 2007) na mensuração do desempenho ambiental dos produtores e a abordagem de Barua et al. (2004) para o cálculo do desempenho ambiental de longo prazo.

### Eficiência Ambiental: a Abordagem por Balanço de Materiais

O balanço de nutrientes é calculado pela quantidade de nutrientes que entra na fazenda como insumos, menos a quantidade que sai da fazenda na forma de produtos. Assim como em Coelli, Lauwers e Van Huylenbroeck (2005; 2007)<sup>6</sup>, considere uma firma que produz um vetor de produtos  $y \in \mathbb{R}_+^m$ ,  $m = 1, 2, \dots, M$ , usando um vetor de insumos  $x \in \mathbb{R}_+^k$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$ . A fronteira de possibilidades de produção  $T$  é definida como:

$$T = \{(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \in \mathbb{R}_+^{k+m} \mid \text{tal que } \mathbf{x} \text{ produz } \mathbf{y}\} \quad (1)$$

em que  $\cdot$  é uma tecnologia de produção. Define-se a variável excesso,  $z \in \mathbb{R}_+$ , como uma função linear dos produtos e dos insumos:

---

<sup>6</sup> Para detalhes adicionais e discussão das propriedades do modelo, consultar Coelli, Lauwers e Van Huylenbroeck, *op. cit.*

$$z = a'x - b'y \quad (2)$$

em que  $a$  e  $b$  são vetores ( $K \times 1$  e  $M \times 1$ ) de constantes conhecidas não negativas, correspondendo, respectivamente, ao conteúdo de nutrientes presente nos insumos e nos produtos (RAMILAN, 2008). Se considerarmos o vetor produto  $y$  como dado para um  $i$ -ésimo produtor, o excesso de nutrientes será reduzido se o nutriente agregado dos insumos ( $N = a'x$ ) for minimizado<sup>7</sup>.

Então, tendo em vista o vetor  $a \in \mathbb{R}_+^k$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$ , a minimização dos nutrientes pode ser definida por (3):

$$N(y, a) = \min_x \{a'x \mid (x, y) \in T\} \quad (3)$$

O vetor de insumos relativo à quantidade mínima de nutrientes é denotado por  $x_e$ , a quantidade mínima agregada de nutrientes é representada por  $a'x_e$  e o vetor dos nutrientes agregados observados é dado por  $a'x$ . A eficiência ambiental (EE) para determinada firma  $i$  é definida por (4):

$$EE = a'x_e / a'x \quad (4)$$

A eficiência ambiental (EE) irá assumir valores entre 0 e 1. O valor 1 indica que a firma é eficiente ambientalmente, e valores menores que 1 indicam que, haja vista a tecnologia disponível, é possível produzir com menor nível de emissão.

### **Eficiência Ambiental no Longo Prazo**

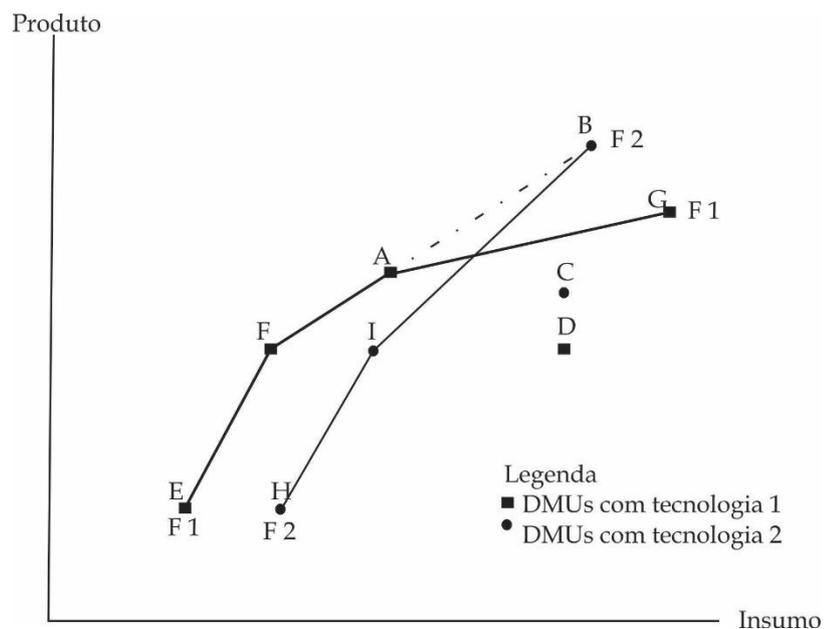
Os produtores estão sujeitos a restrições de curto prazo que não permitem mudanças em sua tecnologia de produção, no tamanho da planta e em outros insumos fixos. Assim, eles podem apresentar tecnologias e estruturas de custos variadas no curto prazo (BLANCARD et al., 2006), devendo suas decisões serem analisadas tanto no longo quanto no curto prazo (BINGER; HOFFMAN, 1998).

A formação de novas áreas de pastagem, a construção de um novo estábulo e a compra e instalação de um sistema de ordenha mecânica são exemplos de fatores tecnológicos que não podem ser alterados rapidamente pelo produtor rural (consideradas alterações de longo prazo). Ademais, os produtores agropecuários têm uma capacidade limitada de mover sua produção para um local mais produtivo, conforme O'Donnell, Rao e Battese (2008). Esses fatores também podem definir um sistema como intensivo (no qual os animais ficam a maior parte do tempo confinados em uma pequena área) ou extensivo (sistema de produção baseado nas pastagens, em que os animais obtêm o alimento pelo pastejo).

---

<sup>7</sup> Apesar dessa pressuposição, a capacidade de absorção e síntese de aminoácidos e proteínas, por meio do nitrogênio presente na alimentação dos bovinos, varia em função das condições dos animais, da dieta, da maturação da forragem, dentre outros fatores. Nesse sentido, o cálculo representa uma aproximação da eficiência ambiental das propriedades, haja vista a complexidade que envolveria o cálculo das emissões de nitrogênio dos produtos.

As restrições tecnológicas de curto prazo devem ser consideradas na análise da ineficiência produtiva, haja vista que parte dela pode ser atribuída aos modelos tecnológicos de menor produtividade. Considere dois grupos de firmas e suas respectivas fronteiras de produção (poliangulares) de curto prazo representadas por F1 e F2 (Figura 1). Elas foram sobrepostas como forma de destacar a diferença na produtividade decorrente da tecnologia de produção. A curva envoltória de F1 e F2 é a fronteira de possibilidades de produção de longo prazo (em que não há restrições de tecnologia), representada pelos seguimentos  $\overline{EF}$ ,  $\overline{FA}$  e o segmento pontilhado  $\overline{AB}$ . Os pontos "E", "F", "A", "D" e "G" denotam o produto utilizando a tecnologia 1. Os pontos "C", "H", "I" e "B" demonstram a produção segundo a tecnologia 2.



**Figura 1. Fronteiras de produção poliangulares de curto e longo prazo.**

Fonte: Barua et al. (2004).

A fundamentação teórica proposta por Barua et al. (2004)<sup>8</sup> é semelhante à abordagem de metafronteira apresentada por O'Donnell, Rao e Battese (2008), em que estes definiram a existência de grupos de produtores com subtecnologias e suas respectivas fronteiras de possibilidades de produção. O'Donnell, Rao e Battese (2008) supõem que restrições regulatórias, ambientais ou de recursos impeçam os produtores de escolher dentre o conjunto total de tecnologias de produção disponíveis. Nesse ponto, Barua et al. (2004) consideram a existência dessas limitações, mas a associam explicitamente às restrições de mudança tecnológica de curto prazo.

Assim, podemos definir a fronteira de possibilidades de produção T para cada n-grupo como (O'DONNELL; RAO; BATTESE, 2008):

<sup>8</sup> Outros autores utilizaram a abordagem proposta por Barua et al. (2004), como Cooper et al. (2008) que calcularam a eficiência de curto e longo prazo de bancos chineses.

$$T^n = \{(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \in R_+^{k+m} \mid \text{tal que } \mathbf{x} \text{ pode ser usado por firmas do grupo } n \text{ para produzir } \mathbf{y}\}$$

E suas respectivas propriedades:

- (i) se  $(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \in T^n$  para qualquer  $n$  então  $(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \in T$ ;
- (ii) se  $(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \in T$  então  $(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \in T^n$  para algum  $n$ ;
- (iii)  $T = \{T^1 \cup T^2 \cup \dots \cup T^n\}$ ;

Essas propriedades seguem do fato de que o conjunto de produção de cada grupo  $T^n(\mathbf{x}), k = 1, 2, \dots, n$ , que em Barua et al. (2004) refere-se ao curto prazo, é um subconjunto do produto irrestrito.

Assim, um produtor representado pelo ponto "I" sobre a fronteira de possibilidades de produção F2, e que emprega a tecnologia 2, é eficiente tecnicamente segundo a sua tecnologia, mas será considerado ineficiente tecnicamente se as diferenças tecnológicas não forem consideradas. Isso o levaria a realizar um ajuste na alocação dos recursos, objetivando alcançar a fronteira F1, o que não seria possível para a sua tecnologia e poderia resultar em ineficiência técnica, alocativa, econômica ou ambiental.

Ademais, quando as restrições de curto prazo não são consideradas, não é possível discriminar entre a eficiência de curto prazo e a de longo prazo, tampouco avaliar se ações de curto prazo seriam suficientes para corrigir as ineficiências ou se seriam necessárias ações de longo prazo. Essa discriminação permite que práticas de correção de maior eficácia e melhor planejadas sejam implementadas. Nesse sentido, Barua et al. (2004) propuseram uma abordagem de análise do desempenho no curto e no longo prazo com duas importantes propriedades: (i) toda ineficiência técnica que possa existir no curto prazo é eliminada no longo prazo; e (ii) a fronteira de longo prazo é, pelo menos, tão eficiente quanto a fronteira de curto prazo para cada produtor analisado, ou seja,  $D^n(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \geq D(\mathbf{x}, \mathbf{y})$  para todo  $n = 1, 2, \dots, n$ , em que  $D$  denota a função distância, conforme proposto por O'Donnell, Rao e Battese (2008).

## METODOLOGIA

Inicialmente, foram formados dois grupos de produtores por meio da análise de agrupamentos. Posteriormente, os vetores de insumos de menor emissão de curto prazo foram calculados por meio da análise envoltória de dados. Esses vetores, por sua vez, foram utilizados na estimação da eficiência ambiental de longo prazo. Por fim, a relação entre as variáveis socioeconômicas e produtivas e o desempenho ambiental de longo prazo foi analisada utilizando a regressão quantílica.

## Análise de agrupamentos

Os grupos foram construídos utilizando a análise de agrupamentos ou clusters por meio do método de k-médias. Trata-se de um método iterativo que divide os produtores em k grupos ou clusters, definidos previamente.

Segundo o StataCorp (2015), o procedimento inicia determinando aleatoriamente uma observação a cada k grupo; em seguida, calcula-se a distância euclidiana de cada observação da amostra em relação ao centroide (média) de cada um dos k grupos; então, aloca-se o elemento ao grupo mais próximo; novamente, calcula-se o centroide de cada grupo e a distância de cada elemento ao centro de cada grupo, e aloca-se o elemento ao grupo mais próximo. O procedimento continua até que todas as observações sejam designadas a um dos k grupos e permaneçam no mesmo grupo em relação à etapa imediatamente anterior.

A distância euclidiana entre duas observações  $i$  e  $j$  pode ser calculada, conforme Everitt et al. (2011), da seguinte maneira:

$$d_{ij} = \left[ \sum_{n=1}^p (x_{in} - x_{jn})^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

em que  $x_{in}$  e  $x_{jn}$  são, respectivamente, os  $n$ -ésimos valores da observação  $p$ -dimensional para os indivíduos  $i$  e  $j$ , sendo que a distância entre  $i$  e  $j$  é a mesma que entre  $j$  e  $i$ .

Para evitar que o tamanho da operação influencie os escores fatoriais e a análise de agrupamentos, as variáveis<sup>9</sup> (Tabela 1) foram divididas pelo número de vacas, pela área destinada à produção láctea, etc., de forma semelhante ao executado por Alvarez et al. (2008). A escolha dos denominadores para cada variável foi tal que esta retratasse a relação capital/vaca, a intensidade do sistema produtivo ou o sistema de produção empregado (intensivo ou extensivo).

---

<sup>9</sup> Nesta pesquisa, por exemplo, as variáveis "Instalação.v" e "Máquinas.v" apresentaram correlação de 61,6%, "Vacasp" e "Concentrado.v", de 67%, e "Cocho.a" e "Pastagens.a", de -85,9%. Entretanto, conforme Mingoti e Lima (2006), o método de k-médias não é sensível à correlação entre as variáveis utilizadas.

**Tabela 1. Variáveis utilizadas na formação dos agrupamentos**

Variável	Descrição
Instalação.v	Valor das benfeitorias <sup>10</sup> utilizadas para o gado de leite em R\$/ano, ponderado pelo percentual de utilização pelo gado de leite, dividido pelo número de vacas secas e lactantes, em cabeças, considerando a depreciação linear;
Máquinas.v	Valor das máquinas e equipamentos <sup>11</sup> utilizados para o gado de leite em R\$/ano, ponderado pelo percentual de utilização pelo gado de leite, dividido pelo número de vacas secas e lactantes, em cabeças, considerando a depreciação linear;
Vacas.p	Número de vacas secas e lactantes, em cabeças, dividido pela soma da área com pastagem natural e pastagem formada, em hectares (ha);
Pastagens.a	Razão entre a soma da área com pastagem natural e formada, em hectares, e a área total da propriedade destinada à pecuária de leite;
Cocho.a	Razão entre a soma da área com cana de açúcar, capineira, milho e sorgo para silagem, destinados à pecuária de leite, em ha, e a área total da propriedade destinada à pecuária de leite;
Vacas.c	Número de vacas secas e lactantes, em cabeças, dividido pela soma da área com cana de açúcar, capineira, milho e sorgo para silagem, destinados à pecuária de leite, em ha;
Concentrado.v	Razão entre as despesas no último ano com concentrados <sup>12</sup> , em reais, e o número de vacas secas e lactantes, em cabeças;
Minerais.v	Razão entre as despesas no último ano com minerais <sup>13</sup> , em reais, e o número de vacas secas e lactantes, em cabeças;
Familiar.a	Razão entre as despesas com mão de obra familiar destinada à pecuária leiteira no último ano, em reais, e a área total da propriedade destinada à pecuária de leite, em ha;
Familiar.v	Razão entre as despesas com mão de obra familiar destinada à pecuária leiteira no último ano, em reais, e o número de vacas secas e lactantes, em cabeças;
Contratada.a	Razão entre as despesas com mão de obra contratada no último ano, destinada à pecuária leiteira, em reais, e a área total da propriedade destinada à pecuária de leite, em ha;
Contratada.v	Razão entre as despesas com mão de obra contratada no último ano, destinada à pecuária leiteira, em reais, e o número de vacas secas e lactantes, em cabeças;
Variação	Variação percentual da produção média por produtor em relação às "águas".

Nota: As letras "v", "p", "c" e "a", após o nome das variáveis, denotam que o denominador da relação é, respectivamente: número de vacas; área com pastagens; área com cana de açúcar, capineira, milho e sorgo para silagem; e área total da propriedade destinada à pecuária de leite.

<sup>10</sup> Curral, sala de ordenha, estábulo, coberta para manejo, tronco, silo, bezerreiro, cercas perimetrais e internas, sala de máquinas, casa sede, tanque de resfriamento e outras.

<sup>11</sup> Picadeira de forrageira, pulverizador, resfriador, botijão de sêmen, carroça, ordenhadeira mecânica, ensiladeira, trator, arado, grade, balança, equipamento para irrigação, utensílios para ordenha, motocicleta, tanque individual, tanque coletivo, tanque de imersão e outros.

<sup>12</sup> Concentrado comercial para vacas em lactação, para vacas falhadas, para bezerras e para novilhas; milho debulhado com palha e sabuco; fubá de milho; farelo de arroz; farelo de algodão; farelo de soja; ureia pecuária e melaço.

<sup>13</sup> Sal comum; concentrado mineral; sal mineral; farinha de ossos; fosfato bicálcio; mistura preparada na fazenda e outras.

## Análise Envoltória de Dados

Para a estimação dos escores de eficiência ambiental, foram utilizados vetores de produtos e insumos<sup>14</sup> (Tabela 2).

**Tabela 1. Variáveis utilizadas na estimação da eficiência ambiental, Minas Gerais, 2005**

Variável	Descrição
Leite (produto)	Quantidade de leite vendida e consumida pela família, em litros;
Animais (produto)	Quantidade de gado vendida e consumida pela família, em cabeças;
Fornagem (insumo)	Quantidade de forragem, em quilos de matéria seca, fornecida aos animais, incluindo a produção de forragem oriunda da capineira, silagem de milho, silagem de sorgo, <i>Brachiaria decumbens</i> , cana de açúcar e pastagem natural (capim gordura e capim Jaraguá);
Concentrados (insumo)	Somatório da alimentação fornecida ao rebanho, em quilos, incluindo concentrado comercial para vacas lactantes, para vacas falhadas, para bezerros e para novilhas, milho debulhado com palha e sabuco, fubá de milho, farelo de arroz, farelo de algodão, farelo de soja, farelo de trigo, ureia pecuária e melaço.

A eficiência ambiental e o vetor de insumos de mínima emissão de nutrientes foram obtidos por meio da equação (6), conforme Coelli, Lauwers e Van Huylenbroeck. (2007):

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{\lambda, x_i^e} \mathbf{a}'_i \mathbf{x}_i^e \\ & \text{Sujeito a } -\mathbf{y}_i + \mathbf{Y}\boldsymbol{\lambda} \geq 0; \\ & \mathbf{x}_i^e - \mathbf{X}\boldsymbol{\lambda} \geq 0; \\ & \boldsymbol{\lambda} \geq 0 \end{aligned} \tag{6}$$

em que  $\mathbf{y}_i$  denota o vetor de produção, e  $x^e$  é o vetor dos insumos que minimiza as emissões dos nutrientes para cada  $i$ -ésimo produtor,  $\mathbf{Y}$  e  $\mathbf{X}$  são as matrizes de produtos e insumos, respectivamente, e “ $\mathbf{a}$ ” representa o vetor das quantidades de nitrogênio dos insumos (Anexo 1). A equação (6)

<sup>14</sup> É importante destacar que a pecuária leiteira é praticada, na sua maioria, de forma extensiva. Sistemas extensivos apresentam baixa taxa de ocupação (número de cabeças por área). A Análise Envoltória de Dados permite controlar, explicitamente, esse diferencial, ao se incorporar, como insumos ao modelo, o número de cabeças e a área. Entretanto, como o número de vacas não gera entradas de nitrogênio no sistema, essa variável não pode ser considerada. Contudo, o modelo, implicitamente, controla o diferencial entre os sistemas extensivos e intensivos, ao incorporar aos vetores de insumos a forragem (de maior importância para sistemas extensivos) e os concentrados (mais importante para sistemas intensivos).

pressupõe retornos constantes de escala, entretanto, conforme Coelli, Lauwers e Van Huylenbroeck (2005), a versão com retornos variáveis à escala pode ser obtida acrescentando a restrição de convexidade  $\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$  a essa mesma equação.

O problema de programação linear (6) foi aplicado a cada grupo de produtores e, assim, o cálculo da eficiência ambiental considerou a fronteira de produção de cada um. Esse problema de programação automaticamente calcula os vetores de insumos (concentrados e forragens) que resultam em emissões mínimas de nitrogênio no curto prazo.

Posteriormente, esses vetores de insumos que minimizam as emissões de nitrogênio, obtidos na etapa anterior (no curto prazo), foram agrupados em uma única base de dados, o que equivale a considerar uma única fronteira de produção. A equação (6) foi aplicada novamente a todos esses dados e a eficiência ambiental de longo prazo foi então calculada como (COELLI, LAUWERS; VAN HUYLENBROECK, 2005):

$$EE = a_i' x_i^* / a_i' x_i \quad (7)$$

em que  $x_i^*$  e  $x_i$  são, respectivamente, a quantidade de insumos que minimizam a emissão de nitrogênio no longo prazo e a quantidade empregada pelos produtores.

### Regressão Quantílica

A análise da relação entre as variáveis pressupostas como associadas às medidas de eficiência tem comumente utilizado o modelo Tobit ou a regressão linear clássica. Entretanto, esses métodos são sensíveis a *outliers*, uma vez que a matriz de covariância é estimada com a pressuposição de normalidade. Esses modelos pressupõem ainda homocedasticidade, ou seja, a variância condicional  $\text{Var}(y|x)$  é assumida como sendo uma constante para todos os valores da matriz de variância-covariância, e o modelo falha quando a variável resposta é assimétrica (HAO; NAIMAN, 2007). Um modelo robusto a esses inconvenientes e que captura as mudanças de localização e inclinação das curvas é a regressão quantílica, introduzida por Koenker e Bassett Júnior (1978). Esse método permite distinguir diferenças de importância e de relação das variáveis sobre a mediana e sobre os quantis altos e baixos da variável dependente, permitindo assim uma caracterização mais rica dos dados (HAO; NAIMAN, 2007; CAMERON; TRIVEDI, 2009).

Feitas essas considerações, foi estimada a regressão quantílica em forma linear da seguinte maneira:

$$Q_\theta(Y_i : X_i) = X_i' \beta_\theta, \quad \theta \in (0,1) \quad (8)$$

em que  $Q_\theta(Y_i : X_i)$  representa o  $\theta$  quantil da variável dependente condicional (eficiência ambiental), dada a matriz de regressores  $X$  de variáveis associadas às características dos produtores, da propriedade e de políticas públicas sobre o desempenho ambiental (Tabela 3).

A regressão quantílica, para o  $\theta$ -ésimo quantil,  $0 < \theta < 1$ , é definida como qualquer solução para a minimização do problema (KOENKER; BASSETT JÚNIOR, 1978):

$$\min_{\beta \in \mathbb{R}} n^{-1} \left\{ \sum_{i \in \{i: y_i \geq x_i \beta\}} \theta |y_i - x_i \beta| + \sum_{i \in \{i: y_i < x_i \beta\}} (1 - \theta) |y_i - x_i \beta| \right\} \quad (9)$$

As variáveis explicativas relacionadas à profissionalização do produtor (“Administrador” e “Controle”) buscam captar a importância da capacitação em relação à eficiência. É esperado um relacionamento positivo entre essas variáveis e a eficiência ambiental, uma vez que uma maior profissionalização estaria relacionada à utilização racional dos insumos, buscando evitar desperdícios, com consequente redução dos dejetos. As variáveis “Raça” e “Variação” buscam captar a especialização do sistema produtivo e do sistema de manejo. Supõe-se uma relação negativa entre a variável “Raça” e a eficiência ambiental, uma vez que raças com características leiteiras tendem a permanecer no curral, consumir grande quantidade de alimentos e produzir dejetos que se acumulam e apresentam capacidade de poluição ambiental, como destacam Haridoim e Gonçalves (2003). As dietas características de sistemas intensivos de produção, baseadas em alimentos de maior percentual proteico, como silagem e ração, resultam em maior emissão de amônia, conforme Smits et al. (1995).

Presume-se uma relação negativa para a variável “Intensidade”, uma vez que uma maior intensidade da produção resultaria em maior geração de dejetos. Ademais, Di e Cameron (2002) destacam que o aumento da intensidade da produção agropecuária está associado, principalmente, à maior utilização de fertilizantes nitrogenados e resíduos orgânicos. Dessa forma, a intensidade da produção foi analisada, tomando como proxy o número total de vacas por hectare, como referenciado em Alvares et al. (2008).

As variáveis “Treinamento”, “Assistência12”, “Assistência36”, “Assistência6”, “Experiência”, “Escolaridade” e “Administrador” foram incluídas como forma de captar suas relações com a eficiência, esperando-se que estas sejam positivas. Entre as justificativas para essa expectativa, como pontuado por Tauer (1993), está a melhoria da capacidade dos produtores em interpretar as variações do mercado e, dessa forma, alocar da melhor maneira os insumos com base nos preços relativos. No contexto ambiental, os produtores seriam capazes de perceber as demandas ambientais advindas da sociedade mais rapidamente e melhor.

Considerando a discussão de Alvares et al. (2008) e Cabrera, Solís e Corral (2010), foram incluídas as variáveis “Produtividade das vacas”, “Produtividade da mão de obra” e “Lactantes”, como estratégia de avaliação da associação entre o rendimento do sistema produtivo e o desempenho ambiental dos produtores. Espera-se uma relação positiva entre essas variáveis e a eficiência ambiental, dado que, como esses autores concluíram, propriedades de maior produtividade produzem mais leite por vaca, por alimento consumido e por hectare, e, também, são mais fáceis de administrar.

**Tabela 2. Variáveis da regressão quantílica e descrição**

Variável	Descrição
Eficiência Ambiental (EE)	Estimativa para o desempenho ambiental de longo prazo da produção láctea na propriedade rural (equação 7), em forma percentual.
Variáveis Explicativas	
Idade	Idade do produtor, em anos.
Idade2	Idade do produtor, em anos, elevada ao quadrado, buscando captar efeitos não lineares.
Escolaridade	Nível de escolaridade do produtor, em anos de estudo.
Experiência	Período, em anos, em que o fazendeiro produz leite.
Principal	Variável binária que assume valor 1 se a atividade láctea é a principal atividade produtiva (considerando a receita total) e 0, caso contrário.
Administrador	Variável binária que assume valor 1 se a propriedade possui administrador contratado e 0, caso contrário.
Distribuição	Razão entre o tempo do proprietário destinado à atividade láctea e o tempo total destinado a todas as atividades desenvolvidas pelo produtor.
Controle	Variável binária que assume valor 1 se o produtor possui algum controle administrativo da atividade e 0, caso contrário.
Treinamento	Variável binária que assume valor 1 se o produtor participou de algum treinamento no último ano e 0, caso contrário.
Raça	Percentual das vacas leiteiras com características raciais de "7/8 HZ" a Puro Holandês e outras raças europeias.
Variação	Variação da produção média de leite entre a produção das "águas" e da "seca", como <i>proxy</i> da qualidade da alimentação.
Intensidade	Razão entre o número total de vacas (em lactação e secas) e a área total da propriedade, destinada à produção láctea em hectares.
Assistência12	Variável binária que recebe valor 1 se o técnico visitou a propriedade uma ou duas vezes no ano e 0, caso contrário.
Assistência36	Variável binária que recebe valor 1 se o técnico visitou a propriedade de três a seis vezes no ano e 0, caso contrário.
Assistência6	Variável binária que recebe valor 1 se o técnico visitou a propriedade mais de seis vezes no ano e 0, caso contrário.
Crédito	Variável binária que recebe valor 1 se o produtor utilizou o crédito rural e 0, caso contrário.
Prod.vacas	Produção total de litros de leite ao ano, incluindo o leite consumido pela família, pelos animais e nos laticínios, dividido pelo número de vacas lactantes, em cabeças.
Prod.trabalho	Receita total com a atividade leiteira dividida pela quantidade de mão de obra para o manejo do rebanho, em equivalente dias/homem, sendo 1 dia/mulher ou 1 dia/criança considerados como 0,8 dia/homem.
Etrato2	Variável binária que assume valor 1 se são produzidos de 50 a 200 litros/dia e 0, caso contrário.
Etrato3	Variável binária que assume valor 1 se são produzidos de 200 a 500 litros/dia e 0, caso contrário.
Etrato4	Variável binária que assume valor 1 se são produzidos de 500 a 1000 litros/dia e 0, caso contrário.
Etrato5	Variável binária que assume valor 1 se são produzidos mais que 1000 litros/dia e 0, caso contrário.
Sucessão1	Variável binária que assume valor 1 se o produtor acredita que o filho vá continuar na atividade leiteira e 0, caso contrário.
Grupo	Variável binária que assume valor 1 se o produtor está classificado no grupo 1 e 0, caso contrário.
Distância	Distância da propriedade à sede do município, em km.

Foram adicionadas variáveis *dummies* para captar a diferença da eficiência ambiental entre os estratos. No contexto da eficiência econômica, Tauer e Mishra (2006) argumentaram que o custo de produção dos pequenos produtores poderia ser maior por existir apenas uma tecnologia, adequada aos grandes produtores, e assim haver um superdimensionamento da atividade produtiva. No contexto da eficiência ambiental, a tecnologia utilizada pode ser inadequada à escala de produção dos pequenos produtores, levando a maiores emissões de nitrogênio. O segundo componente refere-se à ineficiência econômica dos produtores, que, de acordo com os autores citados, não utilizam a relação correta de insumos, dado seus preços relativos. Para a eficiência ambiental, esse componente seria interpretado como se os produtores utilizassem a relação incorreta de forrageiras/concentrados, considerando o vetor de nitrogênio. Os estratos de produção (“Estrato2”, “Estrato3”, “Estrato4” e “Estrato5”) foram definidos tal como no “Diagnóstico da Pecuária Leiteira no Estado de Minas Gerais em 2005” (FAEMG, 2006).

Como forma de captar variações nos escores de eficiência entre os grupos de produtores, não explicadas pelas variáveis incorporadas na regressão quantílica, foi adicionada uma variável *dummy* referente ao grupo no qual o produtor está inserido.

### Fonte de Dados

Os dados utilizados no estudo são provenientes do “Diagnóstico da Pecuária Leiteira no Estado de Minas Gerais em 2005” (FAEMG, 2006) e compreendem 1.000 produtores comerciais de leite do estado, sendo a amostra estratificada segundo dois critérios: quantidade produzida de leite e número de produtores.

Todas as mesorregiões do estado foram incluídas na pesquisa, uma vez que há produção láctea em todas. Pela combinação dos dois critérios de estratificação, determinou-se as amostras como sendo 440, 354, 140, 40 e 26 produtores com produções diárias de até 50 litros, de 50 a 200 litros, de 200 a 500 litros, de 500 a 1.000 litros e acima de 500 litros, respectivamente, totalizando 1.000 produtores.

Os dados obtidos permitem o estudo detalhado dos produtores rurais, uma vez que foram coletadas informações retratando todos os seus aspectos produtivos e de suas propriedades. A amostra inclui o perfil do produtor, características socioeconômicas, adoção de tecnologias, recursos disponíveis para a atividade, tipo de alimentação, preços recebidos e custo dos insumos, conhecimento do produtor e fonte de informação sobre a atividade, indicadores financeiros, etc. Esses dados permitem, assim, a análise ambiental dos produtores.

Entretanto, foram retiradas aquelas observações referentes a produtores que declararam não possuir vacas leiteiras ou área destinada ao rebanho, e não utilizar mão de obra ou concentrados, para o período de análise. Foram aceitos, na amostra, produtores que não possuíssem área com pastagem, desde que apresentassem área destinada à produção de volumosos para a

alimentação no cocho, como milho, cana, etc., dispusessem recursos na compra de concentrados ou os produzissem na propriedade. Também foram aceitos, na amostra, aqueles produtores que não utilizavam suplementos minerais e mão de obra familiar, desde que empregassem mão de obra contratada, e vice-versa. Após esses procedimentos, a amostra total contou com 850 produtores.

## RESULTADOS

Inicialmente, foram formados os grupos por meio da análise de agrupamentos ou clusters. Observando-se os valores médios para as variáveis utilizadas na formação dos agrupamentos (Tabela 4), pode-se aferir que o primeiro grupo é formado por produtores mais capitalizados, que trabalham com produção intensiva e utilizam maior proporção de mão de obra familiar. Os produtores do grupo 1 apresentam instalações e máquinas de maior valor por cabeça, maior número de vacas por área de pastagens e por área de forrageiras picadas fornecidas ao rebanho (variável “Vacas.c”) e empregam maior quantidade de mão de obra familiar. O grupo 2 é aquele formado por produtores de menor capitalização (“Instalação.v” e “Máquinas.v”), de produção extensiva (“Vacas.p”, “Pastagens”, “Cocho”, “Vacas.c” e “Concentrado.v”) e que utilizam maior proporção de mão de obra contratada.

**Tabela 4. Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na análise de agrupamentos, por grupos, Minas Gerais, 2005.**

Variáveis / Estatísticas	Descrição	Grupo 1	Grupo 2
Instalação.v	R\$/cabeças	278,51	109,69
Máquinas.v	R\$/cabeças	226,24	86,13
Vacas.p	Cabeças/ha	7,57	1,29
Pastagens	%	68,68	83,06
Cocho	%	28,65	14,09
Vacas.c	Cabeças/ha	15,72	9,64
Concentrado.v	R\$/cabeças	320,45	213,63
Minerais.v	R\$/cabeças	45,48	33,19
Familiar.a	R\$/ha	1361,72	160,61
Familiar.v	R\$/cabeças	527,18	187,45
Contratada.a	R\$/ha	63,76	71,92
Contratada.v	R\$/cabeças	18,40	77,67
Variação	%	153,25	138,91
Número de produtores		46	804

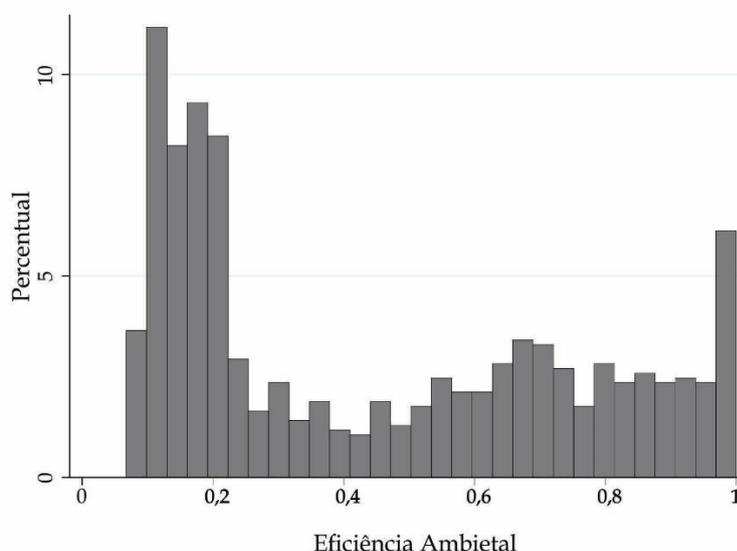
Fonte: Resultados da pesquisa.

A robustez desse resultado pode ser verificada quando se considera que, pela classificação dos agrupamentos, os produtores são predominantemente extensivos. Segundo o SEBRAE/FAEMG (1996) e a FAEMG (2006), os sistemas extensivos são predominantes na produção de

leite em que a alimentação é baseada no pastejo com suplementação volumosa na seca, com pequena produção, pouca produtividade e baixa capitalização.

Tomando os agrupamentos, o desempenho ambiental de curto prazo foi calculado para cada grupo de produtor sob a pressuposição de retornos variáveis à escala, como indicado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KOLMOGOROV, 1933; SMIRNOV, 1933). O teste apresentou valores calculados de 0,5 e 0,78 para os grupos 1 e 2, respectivamente, com nível de significância de 1%, o que permitiu rejeitar a hipótese nula de retornos constantes. Esse resultado indica que há ineficiência de escala (BANKER; NATARAJAN, 2004). Após o cálculo das ineficiências de curto prazo, essas foram corrigidas e o desempenho ambiental de longo prazo foi estimado. O valor médio da eficiência foi de 45,31 (desvio padrão de 30,90).

A distribuição dos escores de eficiência ambiental (Figura 2) indica que os produtores se concentraram na calda inferior, sendo que 43,76% deles obtiveram escore de eficiência maior que 50% e apenas 4,35% foram eficientes (escore igual à unidade).



**Figura 1. Distribuição percentual dos escores de eficiência ambiental de longo prazo, Minas Gerais, 2005.**

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Comparando o valor médio de produtos e insumos utilizados pelos produtores eficientes e ineficientes (Tabela 5), pode-se notar que, apesar de os primeiros utilizarem uma maior quantidade de alimentos, fornecendo mais nitrogênio ao rebanho e gerando maior emissão total, o nível de produção é proporcionalmente maior do que o dos produtores ineficientes. Estes, por sua vez, podem reduzir, proporcionalmente, o uso de concentrados e volumosos, mitigando as emissões, sem com isso diminuir a quantidade produzida. Essa ineficiência pode advir de falhas de informação e da forma como os insumos são utilizados, segundo Piot-Lepetit, Vermersch e Weaver (1997), bem como de dificuldades de gestão

da propriedade rural, além da ineficiência de escala (BANKER; NATARAJAN, 2004).

**Tabela 3. Comparação entre os produtores eficientes e ineficientes ambientalmente, quanto à receita e aos insumos, média por produtor, Minas Gerais, 2005**

Variáveis	Dimensão	Grupo de Produtores		Razão (%)
		Eficientes	Ineficientes	
Leite	Litros	465.224,20	128.065,20	28%
Animais	Cabeças	292,92	16,57	6%
Forragens	Quilos	576.307,30	57.154,26	10%
Concentrado	Quilos	35.893,76	1.199,52	3%

Fonte: Resultados da pesquisa.

A eficiência de escala<sup>15</sup> média dos produtores foi de 36,8%, sendo que 25% dos ineficientes estão operando com retornos crescentes à escala e os demais (75%) estão produzindo com retornos decrescentes à escala. Assim, conforme Ferreira e Gomes (2009), a maior proporção dos produtores ineficientes ambientalmente está operando acima da escala ótima, o que indica, segundo eles, a necessidade de adoção de tecnologias mais avançadas. Após a correção da ineficiência presente no curto prazo, resultante do uso inadequado dos insumos, o desempenho ambiental se mantém baixo (Figura 2), o que denota a necessidade de ações de longo prazo.

Esses resultados demonstram a baixa capacidade dos produtores em adequar o sistema produtivo em relação, por exemplo, à área e à qualidade das pastagens e dos demais alimentos fornecidos, à genética do rebanho e a outros fatores que podem ser alterados apenas no longo prazo. Esse baixo desempenho ambiental pode ser consequência da inadequação da tecnologia para a minimização das emissões de nitrogênio presente na alimentação fornecida ao rebanho pelos produtores, preocupação não usual no pensamento produtivo.

Ademais, a principal preocupação dos produtores rurais reside na rentabilidade da atividade, uma vez que eles não são pagos pelos serviços ambientais prestados. Assim, buscam dimensionar a tecnologia e a produção, almejando a máxima renda e não o mínimo impacto ambiental. Essa indicação é corroborada pelo escore médio da eficiência técnica com retornos variáveis e orientação insumo<sup>16</sup>. Seu valor médio foi de 68,77%, superior à eficiência ambiental em 23,45 pontos percentuais. Desse modo, busca-se uma tecnologia que maximize a produção e não que minimize as emissões de nitrogênio.

<sup>15</sup> Conforme Ferreira e Gomes (2009), a medida da ineficiência de escala pode ser obtida por meio da razão  $EE_{RCE}/EE_{RVE}$ , em que  $EE_{RCE}$  e  $EE_{RVE}$  representam a eficiência ambiental com pressuposição de retornos constantes e retornos variáveis, respectivamente.

<sup>16</sup> Ver Ferreira e Gomes (2009, p. 132) para detalhe da estimação.

A partir dos escores de eficiência ambiental de longo prazo, a relação entre o desempenho ambiental e as características socioeconômicas e do sistema de produção foi estimada por meio da regressão quantílica para os quantis 0,1, 0,5 e 0,9 (Tabela 6). As variáveis “Principal”, “Treinamento”, “Administrador”, “Distância” e “Sucessão” foram excluídas do modelo por não serem estatisticamente significativas, isolada (teste t) e conjuntamente (teste F) ao nível de significância de 1%<sup>17</sup>. Destaca-se que, apesar da diferença aparente dos parâmetros estimados, apenas os relativos a “Escolaridade”, “Controle”, “Crédito”, “Prod.vacas”, “Estrato2”, “Estrato4”, “Estrato5” e “Grupo” foram estatisticamente diferentes entre os quantis estimados ao nível de significância de, pelo menos, 9% pela estatística de Wald.

**Tabela 6. Estimativas para as regressões quantílicas para a eficiência ambiental de longo prazo para os produtores leiteiros, Minas Gerais, 2005.**

Coeficientes / Quantis	q,1	q,5	q,9
Intercepto	42,143***	95,531***	99,871***
Idade	-0,186***	-0,166	0,001
Idade2	0,002***	0,002	0,001
Escolaridade	0,062**	0,224***	0,159**
Experiência	0,013	0,051**	-0,029
Distribuição	-1,085***	-1,726*	-1,485
Controle	1,049***	-0,327	-0,625
Assistência12	0,774***	0,906	0,428
Assistência36	0,191	0,706	1,623*
Assistência6	-0,3	0,496	-0,397
Crédito	-0,297	1,16	-0,226
Variação	0,186	0,26	-0,234
Intensidade	0,181	0,269	0,15
Raça	1,508	1,066	3,798**
Prod.vacas	0,0003**	0,001***	0,00012
Prod.trabalho	3,9E-05	0,000024	-2,2E-06
Estrato2	-0,5*	26,857***	42,017***
Estrato3	58,996***	59,507***	61,757***
Estrato4	76,324***	70,716***	68,717***
Estrato5	82,719***	74,534***	72,423***
Grupo	-28,946**	-78,475***	-75,572***

Notas: \*\*\* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e \* Significativo a 10%. A estimação da matriz de covariância utilizou a pressuposição de erros “não identicamente distribuídos” – extremamente eficientes segundo Koenker e Bassett Júnior (1978).

Fonte: Resultados da pesquisa.

<sup>17</sup> Para os quantis 0,1, 0,5, e 0,9 as estatísticas obtidas foram  $F(5,734) = 0,41$ ,  $F(5,734) = 0,73$  e  $F(5,734) = 0,23$ , respectivamente.

O intercepto capturou os valores condicionais da eficiência ambiental nos diversos quantis para produtores com produção de até 50 litros por dia, que não participaram de treinamento no último ano, não utilizaram crédito rural, não receberam assistência técnica e estão enquadrados no grupo 2 (extensivo).

De forma geral, as variáveis explicativas apresentaram, aparentemente, pequeno efeito sobre o desempenho ambiental de longo prazo dos produtores. Todavia, quando se considera esse efeito para os produtores com baixos escores de eficiência ambiental, por exemplo de 10%, se esse produtor obtiver um aumento na eficiência de 2 pontos percentuais, isso corresponderá a um ganho de 20% no seu desempenho.

Os resultados indicaram que quanto maior a escala de produção, maior a eficiência ambiental e menor, proporcionalmente à produção, é a emissão de nitrogênio. Essa pode ser uma indicação de que a tecnologia empregada pelos grandes produtores pode gerar, proporcionalmente, menos emissões. Esse resultado é interessante, uma vez que a cadeia produtiva apresenta tendência à redução no número dos produtores e ao aumento da produção diária, o que contribuiria para a elevação da eficiência ambiental.

A redução e a concentração da produção seriam reflexos do pagamento diferenciado por volume, qualidade e regularidade de entrega, do aumento dos custos de produção e da diminuição dos preços do leite (FAEMG, 2006). O número de fornecedores para a Itambé, que, segundo a FAEMG (2006), pode ser utilizado como um indicativo da produção de Minas Gerais e do Brasil no ano de 2002, correspondia a 6.010 produtores, que entregavam em média de 334 litros/dia (MILK POINT, 2011). Esse quantitativo reduziu para 4.705 em 2016, mas a produção média entregue aumentou para 574 litros (LEITE BRASIL, 2017).

A variável "Idade" apresentou relação dada pela equação  $0,002*Idade^2 - 0,186*Idade$ , formando assim uma parábola em forma de "U", com raízes iguais a 0 e 93, e ponto mínimo com valor igual a 46,5. Assim, entre 0 e 46,5 anos, há uma relação negativa entre eficiência ambiental e idade. A cada ano a mais do produtor, a eficiência ambiental aumenta, a partir dos 46,5 anos. Contudo, somente haverá um efeito positivo entre idade e eficiência ambiental para aqueles produtores com mais de 93 anos, o que não possui significado para este estudo, uma vez que a idade mais alta entre os produtores é 87 anos.

Entre as variáveis de apoio governamental (crédito rural e programa de assistência técnica), foi significativa apenas a assistência técnica para 1 a 2 visitas do técnico a propriedades dos produtores de menor desempenho (quantil 0,1), e 3 a 6 visitas aos produtores de maior eficiência (quantil 0,9). Assim, essas ações devem ser focadas apenas naqueles sistemas produtivos de menor e maior desempenho, sendo que os resultados indicaram também que não há ganhos de eficiência ambiental se o extensionista ou técnico visitar a propriedade mais de seis vezes ("Assistencia6"). Esse resultado indica a necessidade de reformulação desses instrumentos de ação governamental sob a perspectiva ambiental.

A produtividade por vaca foi significativa estatisticamente para os quantis 0,1 e 0,5, mas não foi considerável do ponto de vista econômico, dada a sua pequena relação com a eficiência ambiental. Seria necessário, no mínimo, um ganho de produtividade de 1.000 litros/dia/vaca para que a eficiência ambiental aumentasse 1 ponto percentual.

A variável “Raça”, que capturou a relação entre a especialização do rebanho para a produção láctea e a eficiência ambiental, indicou que essa foi positiva e estatisticamente significativa, mas apenas para os produtores de maior desempenho ambiental. Assim, apesar de os animais com raças especializadas tenderem a permanecer no curral e consumir grande quantidade de alimentação, como destacaram Hardoim e Gonçalves (2003), eles podem apresentar uma maior eficiência na conversão de alimento em leite, uma vez que utilizam menos calorias no deslocamento pelo pasto em busca de alimento. Contudo, a intensificação da produção não apresentou relação estatisticamente significativa.

A variável que trata do controle administrativo da produção de leite apresentou relação positiva e estatisticamente significativa apenas para os produtores de menor nível de eficiência ambiental. Esses são também os produtores que menos fazem uso de algum tipo de controle (35%), contra a média dos produtores (50%). Para os produtores de menor eficiência, o controle da produção láctea pode resultar em um fornecimento de alimentos ao rebanho de forma mais racional.

A variável “Grupo” foi estatisticamente significativa para todos os quantis e indicou que a eficiência dos produtores intensivos (grupo 1) é menor que a eficiência dos produtores extensivos, tudo mais constante, sendo que para os produtores de menor desempenho, a diferença média da eficiência entre extensivos e intensivos é menor.

Esses resultados são importantes na medida em que chamam a atenção para o baixo desempenho ambiental dos produtores e para a necessidade de que esse desempenho seja considerado na formulação e execução de ações para sua melhoria.

Para os produtores de baixo desempenho, incentivos à profissionalização (controle administrativo e produtividade das vacas), à escolarização e ao dimensionamento do sistema produtivo para aumento da escala de produção seriam ações recomendadas. Para os produtores de desempenho mediano, o aumento da escolaridade, o incentivo a ganhos de produtividade do rebanho e ao aumento da escala, e as novas tecnologias adaptadas a essa maior produção seriam as estratégias mais recomendadas. Para os produtores de maior desempenho (incluindo os eficientes), uma maior especialização do rebanho para a produção láctea, o aumento da escala de produção e da escolaridade, e a visita do técnico extensionista à propriedade de 3 a 6 vezes por ano permitiria ganhos de eficiência.

Convém destacar que essas modificações seriam feitas no longo prazo, ou seja, o aumento da escala poderia ser acompanhado de mudança tecnológica na propriedade, bem como a produção extensiva poderia se dar na forma de sistemas agrosilvopastoris, o que contribuiria para a redução

dos impactos ambientais e também para o aumento da receita agropecuária dos produtores.

## CONCLUSÕES

As estimativas para a eficiência ambiental de longo prazo indicaram o baixo desempenho dos produtores e demonstraram a necessidade de medidas de correção na forma como eles utilizam os insumos nos estabelecimentos agropecuários, para reduzir os impactos ambientais. A ação governamental é uma das estratégias que emerge como sendo capaz de elevar a eficiência ambiental da atividade láctea. Como forma de avaliar essa e outras estratégias, foi estimada a regressão quantílica.

As estimativas indicaram que a sensibilidade da eficiência ambiental de longo prazo depende do desempenho de cada produtor, e que a concepção e o foco dos mecanismos de ação governamental devem levar este fato em consideração: produtores de maior desempenho foram mais sensíveis a alguns mecanismos, enquanto produtores de menor desempenho foram mais sensíveis a outras variáveis. Assim, a resposta ambiental dos produtores a mudanças no sistema produtivo depende do seu desempenho.

De forma geral, as variáveis de maior impacto sobre a eficiência ambiental foram aquelas que tratam da produção diária. As estimativas indicaram que quanto maior a produção diária, maior a eficiência ambiental dos produtores. Corroborando a hipótese da pesquisa, os produtores intensivos apresentaram menor eficiência ambiental do que os produtores extensivos.

Contudo, a pecuária leiteira pode impactar negativamente o meio ambiente de outras formas: erosão do solo, uso hídrico, degradação das pastagens, emissão de CO<sub>2</sub> e metano, entre outras. Apesar da limitação deste estudo em focar apenas no impacto ambiental proveniente das emissões de nitrogênio, assunto não tratado no contexto nacional, esses outros fatores citados têm recebido maior atenção na literatura. Ademais, muitos desses impactos não seriam compatíveis com a abordagem de balanço de materiais, inviabilizando a sua incorporação à análise deste estudo, salvo aqueles relativos a outras formas de emissões, como a de CO<sub>2</sub>. Entretanto, para viabilizar a análise deste fator, seria necessário determinar os pesos relativos de equivalência das emissões, ou seja, quantas unidades de CO<sub>2</sub> emitidas equivalem à degradação ambiental ocasionada por uma unidade de nitrogênio. Diante disso, este estudo focou apenas nas emissões de nitrogênio, destacando somente os seus efeitos sobre o meio ambiente.

Assim, o baixo desempenho ambiental da produção láctea chama a atenção, e os mecanismos de ação governamental devem ser reformulados focando no comportamento de cada produtor, se o objetivo for a redução das emissões pela atividade produtiva. Todavia, os resultados indicaram que o aumento da produção diária apresenta influência positiva sobre a eficiência ambiental, e como há uma tendência à elevação da produção diária no país, criam-se perspectivas para o crescimento da eficiência ambiental pela própria evolução e dinâmica dessa cadeia produtiva.

## AGRADECIMENTOS

Os autores Alexandre B. Coelho e Leonardo B. de Mattos agradecem o apoio financeiro do CNPq, por meio de Bolsa de Produtividade de Pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINO, M. Organic Agriculture, Greenhouse Gas Emissions and Environmental Efficiency: An Empirical Study on OECD Countries. *International Journal of Economics and Finance*, Toronto, v. 8, n. 11, p. 78-95, Nov. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.5539/ijef.v8n11p78>>. Acesso em: 20 set. 2015.
- ALVAREZ, A. et al. Does Intensification Improve the Economic Efficiency of Dairy Farms? *Journal of Dairy Science*, New York, NY, v. 98, n.9, p. 3693-3798, Sep. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1123>>. Acesso em: 15 jun. 2012.
- BANKER, R.D.; NATARAJAN, R. Statistical tests based on DEA efficiency scores. In: COOPER, W.; SEIFORD, L.; ZHU, J. *Handbook on Data Envelopment Analysis*. New York: Kluwer Academic Publishers Inc, p. 265-298, 2004, chapter. 11.
- BARUA, A. et al. DEA evaluations of long- and short-run efficiencies of digital vs. physical product “dot com” companies. *Socio-Economic Planning Sciences*, Kidlington, v 38, n. 4, p. 233-253, Dec. 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.seps.2003.10.002>>. Acesso em: 5 jun. 2012.
- BICHO ON LINE. *Derrubando o custo de produção de silagem*. 2011. Disponível em <<http://www.bichoonline.com.br/artigos/ps0018.htm>>. Acesso em 10 mar 2011.
- BINGER, B.R; HOFFMAN, E. *Microeconomics with calculus*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, NY: Addison Wesley Longman, 1998. 633 p.
- BLANCARD, S. et al. Short- and long-run credit constraints in french agriculture: a directional distance function framework using expenditure-constrained profit functions. *American Journal of Agricultural Economics*, Cary, n. 88, v. 2, p. 351-364, May 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2006.00863.x>>. Acesso em: 10 jan. 2012.
- CABRERA, V.E.; SOLÍS, D. CORRAL, J. Determinants of technical efficiency among dairy farms in Wisconsin. *Journal of Dairy Science*, New York, NY, v 93, n. 1, p. 387-393, Jan. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2307>>. Acesso em: 21 fev. 2012.
- CAMERON, A.C; TRIVEDI, P.K. *Microeconometrics using Stata*. College Station, Texas: Stata Press, 2009. 692 p.
- CARVALHO, J.B. *Desempenho da produção agropecuária dos municípios pertencentes ao escritório de desenvolvimento rural de Andradina/SP*. 2016. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira.

CEDERBERG, C.; MATTSSON, B. Life cycle assessment of milk production – a comparison of conventional and organic farming. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdam, v. 8, n. 1, p. 49-60, Feb. 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(99\)00311-X](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(99)00311-X)>. Acesso em: 28 mar. 2012.

COELLI, T.; LAUWERS, L.; VAN HUYLENBROECK, G. Environmental efficiency measurement and the materials balance condition. *Journal of Productivity Analysis*, New York, NY, v. 28, n.1-2, p. 3 - 12, Oct. 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11123-007-0052-8>>. Acesso em: 15 set 2010.

COELLI, T.; LAUWERS, L.; VAN HUYLENBROECK, G. *Formulation of technical, economics and environmental efficiency measures that is consistent with the materials balance condition*. Queensland: School of Economics, University of Queensland, Nov. 2005. 38 p. (Working Paper Series, 06/2005).

COOPER, W.W. et al. Are state-owned banks less efficient? A long- vs. short-run Data Envelopment Analysis of Chinese banks. *International Journal of Operational Research*, Olney, UK, v. 3, n. 5, p. 533-556, Jan. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1504/IJOR.2008.019167>>. Acesso em: 17 fev. 2012.

DI, H.J.; CAMERON, K.C. Calculating nitrogen leaching losses and critical nitrogen application rates in dairy pasture systems using a semi-empirical model. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, Singapore, v. 43, n.1, p. 139 - 147, Mar. 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00288233.2000.9513415>>. Acesso em: 20 set. 2012.

\_\_\_\_\_. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, Netherlands, v. 46, n. 3, p. 237-256, Nov. 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/A:1021471531188>>. Acesso em:

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Utilização da cana-de-açúcar na alimentação de bovinos*. Campo Grande, MS: Embrapa, 1997. Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/divulga/GCD23.html>>. Acesso em: 10 mar 2011 (Gado de Corte Divulga, 23).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Ureia na alimentação de vacas leiteiras*. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2007, 33 p. (Documentos, 186)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA; CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL - CNPMA. *Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Emissões de metano da pecuária*. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006. 76p.

EVERITT, B.S. et al. *Cluster Analysis*. 5<sup>th</sup> ed. New York: Wiley, 2011. 346p.

FAEMG – FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Diagnóstico da Pecuária Leiteira do Estado de Minas Gerais em 2005*. Belo Horizonte: FAEMG, 2006. 156p.

FERREIRA, C.M.C.; GOMES, A.P. *Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações*. Viçosa, MG: Editora UFV. 2009. 389 p.

GOMES, A. P. *Impactos das transformações da produção de leite no número de produtores e requerimentos de mão-de-obra e capital*. 1999. 161 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

GONÇALVES, R.M.L. et al. Analysis of technical efficiency of milk-producing farms in Minas Gerais. *Revista de Economia Aplicada*, São Paulo, SP, v. 12, n. 2, p. 321-335, abr./jun. 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-80502008000200007>>. Acesso em: 25 set. 2010.

HAO, L.; NAIMAN, D.Q. *Quantitative Applications in the Social Sciences: Quantile regression*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. 2007. 125 p.

HARDOIM, P.C.; GONÇALVES, A.D.M.A. Avaliação do potencial do emprego do biogás nos equipamentos utilizados em sistemas de produção de leite. In ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas, SP. *Anais eletrônicos...* Campinas: NIPE/UNICAMP, 2003. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022000000100053&lng=en&nrm=iso](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000100053&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 5 set. 2010.

HELFAND, M.S.; LEVINE, E.S. Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West. *Agricultural Economics*, Hoboken, NJ, v. 31, n.2-3, p. 241-249, Dec. 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agecon.2004.09.021>>. Acesso em: 5 set. 2010.

HOANG, V. Measuring and decomposing changes in agricultural productivity, nitrogen use efficiency and cumulative exergy efficiency: Application to OECD agriculture. *Ecological Modelling*, Amsterdam, v. 222, n. 1, p. 164-175, Jan. 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.09.032>>. Acesso em: 27 mar. 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Agropecuário 2006*. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ca/default.asp?z=p&co=2>>. Acesso em: 20 jun. 2012.

\_\_\_\_\_. *Pesquisa da Pecuária Municipal*. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/94>>. Acesso em: 12 ago. 2017.

ITAMBÉ. *Linha bovinos de leite*. Disponível em: <<http://www.itambe.com/Cmi/Pagina.aspx?1042>>. Acesso em: 13 maio 2011.

KIRCHOF, B. *Alimentação da vaca leiteira: tabelas de necessidades do rebanho, tabelas de nutrientes dos alimentos, exemplo de cálculo, doenças metabólicas, alimentos*. Guaiabá: Editora Agropecuária, 1997. 111 p.

KOENKER, R.; BASSETT JÚNIOR, G. Regression Quantiles. *Econometrica*, Chichester, UK, v. 46, n. 1, p. 33-50, Jan. 1978.

KOLMOGOROV, A. N. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari*, Heidelberg, v. 4, p. 83-91, 1933.

LANGEVELD, J.W.A. et al. Evaluating farm performance using agri-environmental indicators: recent experiences for nitrogen management in the Netherlands. *Journal of Environmental Management*, London, v. 82, n. 3, p. 363-376, Feb. 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.11.021>>. Acesso em: 17 set. 2010.

LEITE BRASIL – ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE LEITE. *20º ranking maiores empresas de laticínios do Brasil - 2016*. Disponível em: <<http://www.leitebrasil.org.br/maiores%20laticinios%202016final.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2017.

LOPES, B.A. *O Capim-Elefante*. Disponível em: <<http://www.forragicultura.com.br/arquivos/capimelefanteBruna.pdf>>. Acesso em: 10 mar 2011.

MILKPOINT. *Maiores empresas de laticínios - Brasil - 2004*. Disponível em: <[http://www.milkpoint.com.br/mn/girolacteo/fotos/gi\\_110505.htm](http://www.milkpoint.com.br/mn/girolacteo/fotos/gi_110505.htm)>. Acesso em: 16 jun. 2011.

MINGOTI, S.A.; LIMA, J.O. Comparing SOM neural network with Fuzzy c-means, K-means and traditional hierarchical clustering algorithms. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 174, n. 3, p. 1742-1759, Nov. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.03.039>>. Acesso em: 27 jan. 2010.

MOREIRA, J.N.; ARAÚJO, G.G.L.; FRANÇA, C.A. Potencial de produção de leite em pastagens nativas e cultivadas no semi-árido. In: SIMPÓSIO NORDESTINO DE ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES, 10., 2006, Petrolina, PE. *Anais...* Petrolina: SNPA, 2006, p. 61- 79.

O'DONNELL, C.J.; RAO, D.S.P.; BATTESE, G.E. Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios. *Empirical Economics*, Heidelberg, v. 34, n. 2, p. 231-255, Mar. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00181-007-0119-4>>. Acesso em: 22 set. 2017.

PIOT-LEPETIT, I. VERMERSCH, D.; WEAVER, R. Agriculture's environmental externalities: DEA evidence for French agriculture. *Applied Economics*, Abingdon, v. 29, n. 3, p.331-338, Oct. 1997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/000368497327100>>. Acesso em: 27 fev. 2010.

POWELL, J.M. et al. Nitrogen use efficiency: a potential performance indicator and policy tool for dairy farms. *Environmental Science & Policy*, New York, NY, v. 13, n. 3, p. 217 - 228. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.03.007>>. Acesso em: 9 set. 2012.

RAMILAN, T. *Improving water quality through environmental policies and farm management: an environmental economics analysis of dairy farming in Karapiro Catchment*. 2008. 249 f. Tese (Doctor of Philosophy on Economics) - University of Waikato, New Zealand.

RAMILAN, T.; SCRIMGEOUR, F.; MARSH, D. Analysis of environmental and economic efficiency using a farm population micro-simulation model. *Mathematics and Computers Simulation*, North-Holland (Netherlands), v.81, n. 7, p.1344-1352, Mar. 2011.

REINHARD, S.; LOVELL, C.A.K.; THIJSSEN, G. Econometric estimation of technical and environmental efficiency: An application to Dutch dairy farms. *American Journal of Agricultural Economics*, Cary, NC, v. 81, n. 1, p. 44-60, Feb. 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1467-8454.2004.00243.x>>. Acesso em: 27 fev. 2010.

ROCKSTRÖM, J. et al. A safe operating space for humanity. *Nature*, London, UK, v. 461, n. 7263, p. 472 – 475. Sept. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/461472a>>. Acesso em: 18 nov. 2013.

SEBRAE-MG - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS/FAEMG - FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Diagnóstico da Pecuária Leiteira do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: SEBRAE-MG/FAEMG, 1996. 102 p.

SILVA, R.G. et al. Lysimeter study to investigate the effect of dairy effluent and urea on cattle urine N losses, plant uptake and soil retention. *Water, Air, and Soil Pollution*, Dordrecht, v.164, n. 1-4, p. 57-78, June 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11270-005-2249-7>>. Acesso em: 27 fev. 2010.

SIQUEIRA, K.B. et al. *O mercado lácteo brasileiro no contexto mundial*. Juiz de Fora: Embrapa. 2010. 12 p. (Circular Técnica, 104).

SMIRNOV, N. V. Estimate of deviation between empirical distribution functions in two independent samples. *Bulletin Moscow University*, Moscow, v. 2, p. 3-16. 1933. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF01262717>>. Acesso em: 27 jan. 2010.

SMITS, M.C.J. et al. A. Effect of protein nutrition on ammonia emission from a cubicle house for dairy cattle. *Livestock Production Science*, Amsterdam, v. 44, n. 2, p. 147-156, Nov. 1995. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0301-6226\(95\)00068-6](https://doi.org/10.1016/0301-6226(95)00068-6)>. Acesso em: 27 fev. 2010.

SOARES FILHO, C. V. Tratamento físico-mecânico, correção e adubação para recuperação de pastagens. In: ENCONTRO SOBRE RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS, 1, 1993, Nova Odessa, SP. *Anais...* Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1993, p. 79-118.

STATA CORP. *Stata multivariate statistics reference manual - release 14*. College Station, Texas: StataCorp LP, 2015. 729 p.

TAUER L.W. Short-run and long-run efficiencies of New York dairy farms. *Agricultural and Resource Economics Review*, Binghamton, NY, v. 22, n. 1, p.1-9, Apr. 1993. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S1068280500000241>>. Acesso em: 20 fev. 2011.

TAUER, W.L.; MISHRA, A.K. Can the small dairy farm remain competitive in US agriculture? *Food Policy*, Kidlington, Oxford, v. 31, n.5, p 458-468, Oct. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2005.12.005>>. Acesso em: 27 maio 2011.

VALADARES FILHO, S.C. et al. *Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos - CQBAL 3.0*. 2011. Disponível em: <<http://cqbal.agropecuaria.ws/webcqbal/index.php>>. Acesso em: 10 mar 2011.

VITOUSEK, P.M. et al. Nutrient imbalances in agricultural development, *Science*, Washington, DC, v. 324, n. 5934, p. 1519-1520, June 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.1170261>>. Acesso em: 18 nov. 2013.

WOLF SEEDS. *Gramíneas - Capim Gordura*. Disponível em: <<http://www.wolfseeds.com/ptBR/produtos-e-servicos/semente/id/55>>. Acesso em 10 mar. 2011.

ZEN, S. et al. *Pecuária de corte brasileira: impactos ambientais e emissões de gases efeito estufa (GEE)*. Piracicaba: CEPEA, 2008. 6p.

## ANEXO 1

O Quadro A1 apresenta o percentual de nitrogênio disponível total (NT) como percentual da matéria seca total (MS). Inicialmente, para determinação do percentual da MS, foi calculada a razão entre a matéria seca total sobre a massa total (obtida nas mesmas fontes utilizadas para determinar o NT). Por fim, as quantidades de nitrogênio disponível total presente na alimentação ingerida pelo rebanho foram obtidas pela multiplicação entre as quantidades de dado alimento e o percentual de nitrogênio (NT).

### Quadro A1. Percentual de nitrogênio presente nas diversas fontes de alimento

Descrição	Nitrogênio total	Descrição	Nitrogênio total
Concentrados		Forragens	
Concentrado comercial - (lactantes)	2,62%	Capineira - Capim Elefante (Napier)	0,22%
Concentrado - vacas falhadas	1,50%	Silagem de milho	0,34%*
Concentrado - bezerros	2,44%	Silagem de sorgo	0,28%*
Concentrado - novilhas	2,75%	<i>Braquiaria Decumbens</i>	0,32%
Milho debulhado com palha e sabuco	1,14%	Cana de açúcar	0,12%*
Fubá de milho	1,26%*	Pastagem natural (média)	0,41%
Farelo de arroz	2,12%*	Capim gordura	0,36%
Farelo de algodão	5,10%*	Capim jaraguá	0,46%
Farelo de soja	6,85%*		
Farelo de trigo	2,49%*		
Ureia pecuária	46,40%		
Melaço	0,42%*		

Nota: \*Percentual de nitrogênio médio dos alimentos para Minas Gerais. Os demais consideraram a média brasileira pela não disponibilidade do dado.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Soares Filho (1993), Embrapa (1997), Kirchof (1997), Embrapa (2007), Bicho On Line (2011), Itambé (2011), Valadares Filho et al. (2011), Lopes (2001) e Wolf Seeds (2011).