



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ECONOMIA RURAL**

**TANARA JÉSSICA MARQUES ARAÚJO**

**ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA DA AGROPECUÁRIA NOS MUNICÍPIOS DO  
BIOMA CAATINGA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

**FORTALEZA**

**2022**

TANARA JÉSSICA MARQUES ARAÚJO

ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA DA AGROPECUÁRIA NOS MUNICÍPIOS DO BIOMA  
CAATINGA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Dissertação apresentada ao Mestrado Acadêmico em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, com requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Economia Rural. Área de Concentração: Economia de Recursos Naturais e Política Ambiental (ERNPA).

Orientador: Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo, Ph.D.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A692a Araújo, Tanara Jéssica Marques.

Análise de Ecoeficiência da Agropecuária nos municípios do bioma Caatinga no Semiárido  
Nordestino / Tanara Jéssica Marques Araújo. – 2022.  
94 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de  
Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo, Ph. D..

1. Ecoeficiência. 2. Caatinga. 3. Análise Envoltória de Dados. 4. Agropecuária. 5. Semiárido. I.  
Título.

CDD 338.1

---

TANARA JÉSSICA MARQUES ARAÚJO

ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA DA AGROPECUÁRIA NOS MUNICÍPIOS DO BIOMA  
CAATINGA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Dissertação apresentada ao Mestrado Acadêmico em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, com requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Economia Rural. Área de Concentração: Economia de Recursos Naturais e Política Ambiental (ERNPA).

Orientador: Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo, Ph.D.

Aprovada em: 27/06/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo (UFC)  
Orientador

---

Prof. Dr. Francisco Jose Silva Tabosa (UFC)  
Membro Interno

---

Dr. Gerrio dos Santos Barbosa (OFB – SEPLAG)  
Membro Externo

A Deus.

Aos meus pais.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tudo o que sempre me foi dado durante toda a minha vida. Bendigo a Deus, pois foi através de sua benção que eu consegui concluir mais uma fase de minha vida e conquistar o tão sonhado título de Mestre.

Agradeço aos meus pais, pelo amor incondicional, por serem meu alicerce, e por acreditarem no meu sonho (até mais do que eu mesma). Por sempre estarem ao meu lado, me apoiando, me aconselhando, me incentivando, me ajudando em tudo o que eu precisei durante toda a minha vida e também durante a minha trajetória acadêmica, esse título não é somente meu, é também deles.

Aos meus amados irmãos Germana, Jackeline e Guilherme, por estarem sempre comigo, e por depositarem em mim confiança além de me darem a honra de me escolher como um exemplo a ser seguido.

Ao Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Rogério César Pereira de Araújo pelo privilégio de sua orientação e amizade, por ser sempre tão solícito e paciente comigo durante esta minha longa caminhada dentro do PPGER. Serei eternamente grata por toda a credibilidade depositada em mim, responsável por me fazer chegar até o final desse Mestrado com a certeza de que tudo daria certo com ‘foco, fé e muito trabalho’!

Ao professor Dr<sup>o</sup>. Francisco José Silva Tabosa e ao Dr<sup>o</sup> Gerrio do Santos Barbosa pela prontidão e disponibilidade, em participar da banca examinadora, pelas valiosas colaborações e sugestões que compuseram e enriqueceram este trabalho.

Aos professores e ao coordenador do curso programa PPGER, professor Dr<sup>o</sup> Kilmer Campos, que colaboraram para meu crescimento acadêmico; à secretária Carlene e ao técnico Douglas pela solicitude e palavras de incentivo e apoio.

Por fim, agradeço ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural e a Universidade Federal do Ceará. Agradeço ainda a Instituição Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap), pelo apoio financeiro recebido durante o período do curso.

*Sempre parece impossível até que seja feito”*

(Nelson Mandela)

## RESUMO

A ecoeficiência é um conceito que envolve a economia e o meio ambiente cujos principais objetivos são a maximização do retorno econômico e a minimização dos impactos ambientais, visando ao equilíbrio entre sustentabilidade econômica e ambiental. Nesse sentido, o presente trabalho buscou estimar a ecoeficiência agropecuária nos municípios pertencentes ao bioma Caatinga no semiárido nordestino, utilizando o método de Análise Envoltória de Dados (DEA), além dos modelos de regressão Tobit e Logit, a fim de explicar o impacto das variáveis de produção no índice obtido. Essa pesquisa utilizou dados do último Censo Agropecuário (2017) do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e da *FIRMS* – NASA para o ano de 2017. A pesquisa contou com um total de 1.093 municípios inseridos no bioma Caatinga pertencentes ao semiárido nordestino. Os resultados permitiram categorizar os municípios em faixas de ecoeficiência, dos quais, 38% dos municípios pertencentes a esta análise se enquadraram em um nível de ecoeficiência ‘Muito Alta’, apresentando seus resultados com índices entre 0,80 a 1. A média do índice de ecoeficiência encontrada para os municípios do bioma Caatinga no semiárido nordestino, em 2017, foi de 0,718, classificando-os como ‘Alta’ ecoeficiência. Os municípios *benchmarks*, ou seja, os que se encontram na fronteira de ecoeficiência, representam 21,8% da população, correspondendo a 238 municípios; o que configura um cenário em que os municípios do bioma Caatinga operam, em sua maioria, abaixo de uma ecoeficiência considerada apropriada para equilibrar o ecossistema e a produção agropecuária.

**Palavras-chave:** ecoeficiência; caatinga; análise envoltória de dados; agropecuária; semiárido.

## ABSTRACT

Eco-efficiency is an issue that involves the economy and the environment, and its main objective reflects the maximization of economic returns and the minimization of environmental impacts, aiming at a balance between economic and environmental sustainability. In this sense, the present work sought to estimate the agricultural eco-efficiency in the municipalities belonging to the Caatinga biome in the northeastern semi-arid region, using the Data Envelopment Analysis (DEA) method in addition to Multiple Linear Regression and Logit Regression in order to explain the impact of the variables on the index obtained. This research used data from the last Agricultural Census (2017). Data were also extracted from the Greenhouse Gas Emissions and Removals Estimate System (SEEG) in addition to a compilation of data obtained through FIRMS - NASA to determine the number of fires that occurred in this region for the year 2017. The research counted with a total of 1093 municipalities inserted in the Caatinga biome belonging to the northeastern semi-arid region. The results made it possible to categorize the municipalities into eco-efficiency bands, of which 38% of the municipalities belonging to this analysis fit into a very high eco-efficiency level, presenting their results with indices between 0.80 to 1. While the average eco-efficiency index found for the municipalities of the Caatinga biome of the northeastern semi-arid region in 2017 it was 0.718. The benchmark municipalities, that is, the municipalities that are on the eco-efficiency frontier, represent 21.8% of the population, corresponding to 238 municipalities; which configures a scenario in which the municipalities of the Caatinga biome operate, for the most part, below a necessary eco-efficiency that can balance the ecosystem and agricultural production.

**Keywords:** eco-efficiency; caatinga; data envelopment analysis ; agriculture; semiarid.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Quadro 1 – Apresentação das variáveis utilizadas na mensuração de ecoeficiência..... 37
- Figura 1 – Distribuição dos escores por faixa de ecoeficiência dos municípios do bioma Caatinga. Notação: (a) Muito Baixa:  $0 < IE \leq 0,20$ ; (b) Baixa:  $0,20 < IE \leq 0,40$  (c) Intermediária:  $0,40 < IE \leq 0,60$ ; Alta:  $0,60 < IE \leq 0,80$ ; e Muito Alta:  $0,80 < IE \leq 1$ ..... 53
- Figura 2 – Distribuição dos escores por faixa de ecoeficiência dos municípios do bioma Caatinga. Notação: (a) 1º - Piauí; (b) 2º - Paraíba; (c) 3º - Rio Grande do Norte; (d) 4º - Maranhão; (e) 5º - Ceará; (f) 6º - Sergipe; (g) 7º - Pernambuco (h) 8º - Bahia; (i) 9º - Rio Grande do Norte..... 59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos Índices de Ecoeficiência.....	33
Tabela 2 – Estatísticas Descritivas dos insumos e produtos.....	41
Tabela 3 – Estatística Descritiva das Áreas de Pastagens por Estado no ano de 2017, em hectare.....	43
Tabela 4 – Estatística Descritiva das Áreas Plantadas por Estado no ano de 2017, em hectare.....	44
Tabela 5 – Estatística Descritiva do Capital por Estado no ano de 2017, em unidades de maquinário.....	44
Tabela 6 – Estatística Descritiva das Despesas com Insumos por Estado no ano de 2017, em R\$ 1.000,00.....	45
Tabela 7 – Estatística Descritiva do Emprego de Mão de Obra por Estado no ano de 2017, em número de pessoal ocupado nos estabelecimentos agropecuários...	46
Tabela 8 – Estatística Descritiva de Queimadas por Estado no ano de 2017, em média de ocorrências mensais.....	47
Tabela 9 – Estatística Descritiva das Despesas com Agrotóxicos por Estado no ano de 2017, em R\$ 1.000,00.....	48
Tabela 10 – Estatística Descritiva de Áreas Preservadas por Estado no ano de 2017, em hectare.....	49
Tabela 11 – Estatística Descritiva das Receitas Agropecuárias por Estado no ano de 2017, em R\$ 1.000,00.....	49
Tabela 12 – Estatística Descritiva das Emissões de Gases de Efeito Estufa por Estado no ano de 2017, em MtCO <sub>2e</sub> .....	50
Tabela 13 – Estatística Descritiva de Áreas de Pastagens Degradadas por Estado no ano de 2017, em hectare.....	51
Tabela 14 – Descrição das faixas de ecoeficiências técnicas para os municípios do bioma Caatinga do semiárido nordestino em 2017.....	52
Tabela 15 – Distribuição dos <i>benchmarks</i> entre os estados do bioma Caatinga.....	54

Tabela 16 – Ranking dos Municípios com os 20 Menores Índices de Ecoeficiência.....	56
Tabela 17 – Descrição das médias de ecoeficiências técnicas para os Estados Nordestinos pertencentes ao bioma Caatinga do semiárido nordestino.....	57
Tabela 18 – Descrição da quantidade de municípios e suas proporções dentro das categorias de ecoeficiência para estado.....	58
Tabela 19 – Modelo de regressão Tobit dos índices de ecoeficiência do bioma Caatinga..	61
Tabela 20 – Modelo de regressão Logit dos índices de ecoeficiência do bioma Caatinga..	62
Tabela 21 – Proporção das áreas dos biomas .....	73
Tabela 22 – Municípios <i>Benchmarks</i> – ecoeficiência unitária.....	74
Tabela 23 – Municípios com Ecoeficiência Muito Baixa ou Baixa, por estado da federação .....	77
Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga.....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL	Alagoas
BA	Bahia
BBC	Banker, Charnes Cooper
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
CE	Ceará
CEA	Contabilidade Econômica Ambiental
CRS	<i>Constant Returns to Scale</i> - Retornos Constantes de Escala
CO2	Dióxido de Carbono
CPP	Conjunto De Possibilidades De Produção
DDF	<i>Directional Distance Functions</i> - Funções Distância Direcionais
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i> - Análise Envoltória de Dados
DMUs	<i>Decision Making Unit</i> - Unidades Tomadoras de Decisão
EA	Eficiência Alocativa/ de alocação
EE	Eficiência Econômica/global
Eff	Ecoeficiência
ET	Eficiência Técnica
EG	Eficiência Econômica ou Global
ETP	Eficiência Técnica Pura
FIRMS	<i>Fire Information for Resource Management System</i>
HDF	Função Distância Hiperbólica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE	Índice de Ecoeficiência
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i> - Avaliação do ciclo de vida
MA	Maranhão
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPF	Medida de Produtividade dos Fatores
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)
ONU	Organização das Nações Unidas
PB	Paraíba
PE	Pernambuco

PI	Piauí
PIB	Produto Interno Bruto
PPLs	Problemas de Programação Linear
PTF	Produtividade Total dos Fatores
RIO-92	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro
RN	Rio Grande do Norte
SE	Sergipe
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SFA	<i>Stochastic Frontier Analysis</i> - Análise de Fronteira Estocástica
SUDENE	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
TFP	<i>Total Factor Productivity</i> – <i>Produtividade</i> – Produtividade Total dos Fatores
UF	Unidade Federativa
VRS	<i>Variable Returns to Scale</i> – Retornos Variáveis de Escala
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i> - Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	19
<b>2.1</b>	<b>Desenvolvimento Sustentável</b> .....	19
<b>2.2</b>	<b>Eficiência e Produtividade</b> .....	20
<b>2.3</b>	<b>Ecoeficiência</b> .....	21
<b>2.4</b>	<b>Mensuração de Eficiência e Ecoeficiência</b> .....	23
<b>2.4.1</b>	<i>Métodos paramétricos</i> .....	23
<b>2.4.2</b>	<i>Métodos não paramétricos</i> .....	24
<b>2.4.3</b>	<i>Mensuração da Ecoeficiência na Agricultura</i> .....	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	27
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	27
<b>3.2</b>	<b>Métodos de Mensuração de Ecoeficiência</b> .....	29
<b>3.2.1</b>	<i>Análise Envoltória de Dados</i> .....	29
<b>3.2.1.1</b>	<i>Modelos do DEA</i> .....	30
<b>3.2.2</b>	<i>Modelos de Regressão</i> .....	33
<b>3.2.2.1</b>	<i>Modelo de Regressão Tobit</i> .....	34
<b>3.2.2.2</b>	<i>Modelo Logit</i> .....	35
<b>3.3</b>	<b>Dados e Variáveis</b> .....	36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	41
<b>4.1</b>	<b>Estatística Descritiva das Variáveis</b> .....	41
<b>4.1.1</b>	<i>Insumos Econômicos</i> .....	42
<b>4.1.1.1</b>	<i>Área de Pastagens</i> .....	42
<b>4.1.1.2</b>	<i>Área plantada</i> .....	43
<b>4.1.1.3</b>	<i>Capital</i> .....	44
<b>4.1.1.4</b>	<i>Despesas com insumos</i> .....	45
<b>4.1.1.5</b>	<i>Mão de Obra</i> .....	46
<b>4.1.1.6</b>	<i>Queimadas</i> .....	47
<b>4.1.1.7</b>	<i>Despesas com Agrotóxicos</i> .....	47
<b>4.1.1.8</b>	<i>Áreas Preservadas</i> .....	48
<b>4.1.1.9</b>	<i>Receitas Agropecuárias</i> .....	49
<b>4.1.1.10</b>	<i>Emissões de Gases de Efeito Estufa</i> .....	50

4.1.1.11	<i>Áreas de Pastagens Degradadas</i> .....	51
4.2	<b>Ecoeficiência dos Municípios</b> .....	52
4.3	<b>Eficiência dos Estados</b> .....	56
4.4	<b>TÍTULO DA SEÇÃO PRIMÁRIA</b> .....	20
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	65
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	67
	<b>ANEXO A – PROPORÇÃO DAS ÁREAS DOS BIOMAS</b> .....	73
	<b>ANEXO B – MUNICÍPIOS <i>BENCHMARKS</i> – ECOEFICIÊNCIA UNITÁRIA</b> .....	74
	<b>ANEXO A – MUNICÍPIOS COM ECOEFICIÊNCIA MUITO BAIXA OU BAIXA, POR ESTADO DA FEDERAÇÃO</b> .....	77
	<b>ANEXO D – RANKING DE ECOEFICIÊNCIA DOS MUNICÍPIOS NO BIOMA CAATINGA</b> .....	80

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação crescente da sociedade sobre os impactos da mudança climática no planeta tem levantado questões de como os diversos setores da economia podem contribuir para mitigar tais efeitos, principalmente aqueles que recaem sobre as gerações futuras. (ALLEN CAR *et al.*, 2019). Diante desse cenário, a agropecuária brasileira, inserida em um contexto mundial, enfrenta o grande desafio de garantir a segurança alimentar das populações, apesar das ameaças dos interesses econômicos sobre a disponibilidade e a presença de recursos naturais.

Ao longo da década de 1990, a questão ambiental passou a ganhar importância dentro dos debates políticos, cuja ênfase era dada à urgência pela busca de um equilíbrio entre o crescimento acelerado da produção e do consumo, a degradação ambiental e o esgotamento dos recursos naturais. Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (RIO-92), no Rio de Janeiro, tratou dos princípios norteadores do desenvolvimento sustentável para as empresas, quando se iniciou a discussão sobre ecoeficiência.

O termo ‘ecoefficiência’ foi, primeiramente, difundido pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) em 1992, propondo a incentivar as empresas a serem, simultaneamente, ambientalmente responsáveis e economicamente lucrativas. Nas últimas décadas, o conceito de ecoeficiência recebeu maior atenção dos estudos acadêmicos, o que levou ao seu refinamento e à sua ampliação quanto ao escopo de aplicação, tendo sido utilizado para mensurar as eficiências econômica, ambiental e social de empresas, seja por setores da economia ou da economia do país como um todo.

A ecoeficiência também foi utilizada para mensurar as eficiências econômica e ecológica da agropecuária, envolvendo diferentes contextos empíricos e métodos de análise. Entre outros trabalhos, vale destacar a análise de ecoeficiência da olivicultura no sul da Espanha, feita por Picazo-Tadeo *et al.* (2012); a avaliação da ecoeficiência da agricultura de pequena escala na Polônia e seus impulsionadores institucionais, realizada por Stępień *et al.* (2021); e o estudo de ecoeficiência da produção agrícola intensiva e de seus fatores influenciadores na China, conduzida por You e Zang (2016).

No Brasil, o estudo da ecoeficiência ainda se encontra em seu estágio inicial devido ao pequeno número de trabalhos nessa área, principalmente quando se trata do setor agropecuário. Vale destacar os trabalhos de Silva *et al.* (2021), que mensuraram a ecoeficiência da produção agropecuária na Amazônia; Rosano-Peña *et al.* (2020) que

avaliaram a dependência espacial da ecoeficiência da agricultura em São Paulo; e Araújo *et al.* (2021) que estudaram a ecoeficiência dos municípios da Região Centro-Oeste do Brasil. Até o presente, desconhecem-se estudos que tenham investigado a ecoeficiência da agropecuária considerando variáveis ambientais relevantes na Região Nordeste do Brasil.

Nessa perspectiva, este estudo tem como foco a análise de ecoeficiência agropecuária no semiárido nordestino, no qual predomina o bioma Caatinga. Esse bioma corresponde à única região naturalmente brasileira cuja área abrange, em sua maior proporção de extensão territorial, todos os estados da região Nordeste e o extremo norte de Minas Gerais, com uma população de aproximadamente 27 milhões de pessoas, em sua grande maioria carentes e dependentes dos recursos provenientes desse bioma.

A Caatinga possui espécies endêmicas e é considerada a floresta semiárida mais biodiversa do planeta, contrariando as visões estereotipadas de uma terra pobre e seca. Nesse bioma, são realizadas diversas atividades econômicas para fins agrícolas, pecuários e industriais, práticas fundamentais para o desenvolvimento da região.

No semiárido nordestino, a agropecuária caracteriza-se, em geral, por seu caráter rudimentar, de baixo nível tecnológico e de escassa produtividade, e está sujeita a precipitações pluviométricas insuficientes, irregularidades climáticas e secas periódicas. As condições edafoclimáticas e as práticas rudimentares empregadas na agricultura têm efeitos negativos sobre o meio ambiente, tais como erosão e perda da fertilidade do solo, o que pode levar à agricultura itinerante, à mudança no uso do solo e, conseqüentemente, ao desmatamento do bioma Caatinga.

Considerando que o setor agropecuário tem sua participação nas emissões de gases de efeito estufa, seja diretamente (pelas atividades agropecuárias) ou indiretamente (pela mudança no uso do solo), mensurar a ecoeficiência da agropecuária nos municípios na região Nordeste permitirá avaliar a participação relativa dos mesmos no processo de mudança climática. Nesse sentido, é fundamental identificar os municípios que formam a fronteira de ecoeficiência dos municípios e definir aqueles que estão numa condição relativa de ineficiência quanto ao seu desempenho de maximizar o valor da produção agropecuária enquanto minimiza as emissões de CO<sub>2</sub>.

Para este estudo, o recorte geográfico é o bioma Caatinga, sendo os municípios do semiárido nordestino a unidade de tomada de decisão para a qual é estimado o índice de ecoeficiência. Nesse contexto, pressupõe-se que a agropecuária observada a nível de município gera dois tipos de produtos – o produto agropecuário

(desejável) e as emissões de efeito estufa (indesejável) –, obtidos a partir do emprego dos insumos. Dessa forma, o índice de ecoeficiência é o resultado da ponderação entre a quantidade dos insumos empregados e os produtos, ou seja, a maximização do produto desejável e a minimização do produto indesejável.

Nesse contexto, espera-se que o baixo nível tecnológico da agropecuária empregado no Bioma Caatinga contribua para que os seus municípios obtenham (em média) bons níveis de ecoeficiência. Assim, os municípios onde predominam propriedades rurais de pequeno porte e agricultura familiar provavelmente terão elevados índices, enquanto os municípios com propriedades rurais de grande porte e intensidade em capital produtivo terão baixos índices de ecoeficiência. Essas hipóteses serão verificadas e ponderadas levando em consideração os fatores que determinam o nível de emissões de efeito estufa, a intensidade de uso de insumos modernos e o produto resultante.

Diante disso, o objetivo geral deste estudo consiste em avaliar a ecoeficiência dos municípios do semiárido nordestino pertencentes ao bioma Caatinga, no intuito de auxiliar a formulação de políticas agroambientais que contribuam para mitigar os impactos das mudanças climáticas na Região Nordeste do Brasil. Especificamente, os objetivos do estudo compreendem mensurar a ecoeficiência dos municípios na área de estudo, o que, por sua vez, permite identificar os municípios ecoeficientes e ecoineficientes; hierarquizá-los e classificá-los em categorias de ecoeficiência e, por último, avaliar a relação entre as variáveis de insumos e produtos com os índices de ecoeficiência através de modelos de regressão.

Para alcançar os objetivos propostos, utiliza-se a abordagem não paramétrica de Análise de Envoltório de Dados (DEA, sigla do inglês *Data Envelopment Analysis*). O modelo DEA tem sido amplamente utilizado em estudos que se propõem mensurar a eficiência técnica da produção em vários contextos e, mais recentemente analisar a ecoeficiência. Além desse modelo, também serão utilizadas regressões do tipo Logit e Tobit.

Esta dissertação está dividida em cinco seções, incluindo esta seção introdutória. A segunda seção apresenta o referencial teórico relevante e os conceitos importantes para a construção desta análise. Na terceira seção, serão detalhados os procedimentos metodológicos, assim como o banco de dados da população e as variáveis utilizadas. Na quarta seção, são apresentados os resultados. Por fim, fundamentam-se as considerações finais, seguidas das referências bibliográficas utilizadas no trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo inicial apresenta os conceitos de desenvolvimento sustentável, eficiência e produtividade, a partir dos quais originou-se o conceito de ecoeficiência. Em seguida, define-se a ecoeficiência e sua aplicação ao contexto agropecuário. Finalmente, descrevem-se as abordagens utilizadas para a mensuração da ecoeficiência na agropecuária.

### 2.1 Desenvolvimento Sustentável

O debate envolvendo questões ambientais sempre foi colocado em pauta durante as considerações e análises das escolas de pensamento econômico. Porém, a real preocupação envolvendo o uso dos recursos naturais e suas implicações ecológicas no futuro das próximas gerações passou a ser destaque ainda que de maneira incipiente, nas análises neoclássicas, a partir de 1970. Ainda assim, existiam falhas nos domínios e nas regulações ambientais que impediam as resoluções de tais problemas. Diante disso, uma busca pela resolução desses problemas levou ao surgimento de um novo campo de estudos transdisciplinar, o da Economia Ecológica, que passou a analisar de maneira macro o desenvolvimento sustentável (MIKHAILOVA, 2004).

O termo sustentabilidade é definido pela primeira vez durante o Relatório de Brundtland, apresentado em 1987, pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas (BRUNDTLAND *et al.*, 1987, p.12). Segundo esse documento, desenvolvimento sustentável é o “processo que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades”. Esse novo conceito foi incorporado para abranger as necessidades de uma nova relação entre o ser humano e o meio ambiente em busca de uma conciliação entre as questões sociais e as ambientais a fim de garantir a infinita sobrevivência humana.

Desde a sua primeira definição até os dias de hoje, o uso do termo sustentabilidade tem apresentado muitas interpretações conforme a área e os objetivos dos estudos que empregam o conceito. No que diz respeito ao setor agrícola, o relatório de Brundtland também despertou interesse para uma ideia de agricultura sustentável, segundo Velten *et al.* (2015).

Assim, o conceito de sustentabilidade envolve uma incorporação das dimensões humanas do desenvolvimento estabelecidas entre os pilares econômicos,

ambientais e sociais, enquanto que a ecoeficiência busca avaliar as dimensões contidas na sustentabilidade (SUZIGAN, 2020).

## 2.2 Eficiência e Produtividade

Os fatores da eficiência e da produtividade têm sido utilizados para avaliar o desempenho produtivo de uma unidade produtiva, inclusive sendo amplamente empregados no setor agropecuário. Tal avaliação da eficiência produtiva tem por objetivo obter ganhos de produtividade por meio da eliminação das fontes de ineficiência (CASADO, 2007).

O processo produtivo agropecuário é formado por um conjunto de relações que ocorrem no setor primário da economia. Para alcançar uma alta produtividade em termos de plantio e produção animal, é necessário utilizar de maneira correta a tecnologia disponível (ROSANO-PEÑA; GOMES, 2018).

O conceito de produtividade é um dos termos mais antigos da teoria econômica e já era utilizado pelo economista francês François Quesnay no século XVIII. Para Suzigan, Penã e Guarnieri (2020), a produtividade é entendida como a capacidade de produzir o máximo com o mínimo de recursos. Para Coelli *et al.* (1998), a produtividade de uma unidade produtiva é definida como a relação entre as saídas (produtos ou *outputs*) e as entradas (insumos ou *inputs*) necessárias na produção.

A produtividade que envolve apenas uma única entrada (*input*) e uma única saída (*output*) é uma medida parcial de desempenho, por exemplo, o produto por trabalhador ou por hora trabalhada. Apesar de seu caráter simples e de fácil compreensão, a produtividade parcial é uma medida incorreta, uma vez que pode levar a interpretações equivocadas do desempenho produtivo.

A medida correta de produtividade é aquela cuja mensuração leva em consideração os múltiplos produtos e os múltiplos insumos envolvidos na produção, como observados frequentemente no setor agropecuário. Tal medida de produtividade é denominada de Produtividade Total dos Fatores (TPF, do inglês *Total Factor Productivity*) (COELLI *et al.*, 1998). Segundo Coelli *et al.* (1998), a produtividade total do fator aborda a produtividade de forma agregada, ou seja, uma medida de produtividade envolvendo todos os fatores da produção.

Existem várias maneiras de construir o índice de TPF por meio da abordagem de números índices. Entre os métodos mais comuns na literatura, destacam-se o índice de

Tornqvist, o índice de Fisher, o método Translog, o índice de Laspeyres e Paasche e o índice de Malmquist. O Índice de Malmquist permite mensurar as mudanças na TPF, associando tais mudanças a três fatores: (i) mudança na eficiência técnica; (ii) mudança na tecnologia; e (iii) mudança de escala de produção (KYDLAND; PRESCOTT, 1982).

A relação de produção associa a quantidade empregada dos fatores de produção utilizados à obtenção dos produtos finais. Dentro dessa conjectura, o estudo da eficiência é realizado a partir da tecnologia de produção disponível, transformando os fatores de produção (*inputs*) em produtos finais ou saídas (*outputs*) (MELLO *et al.*, 2005).

Farrell (1957) deu uma nova nomenclatura para eficiência, chamando-a de eficiência econômica ou global (EG), que, por sua vez, pode ser decomposta em dois componentes: (i) eficiência técnica (ET), que revela a capacidade da organização de alcançar o máximo de produto a partir de um conjunto de insumos; e (ii) eficiência de alocação (EA), que está relacionada às decisões de alocar os recursos entre os usos alternativos ao custo mínimo.

Como expõe Rosano-Peña e Gomes (2018), a eficiência global (EG) requer que a produção atenda aos requisitos de eficiência técnica e eficiência de alocação, concomitantemente. A eficiência técnica (ET) abrange apenas os aspectos físicos do processo produtivo, enquanto a eficiência alocativa (EA) está relacionada à minimização dos custos e à maximização de receitas da unidade produtiva.

A eficiência técnica (ET) pode ser vista sob duas perspectivas: (i) orientada pelo produto quando, dada uma quantidade fixa de insumos, busca-se alcançar o máximo produto possível; e (ii) orientada pelo insumo quando se minimiza a quantidade utilizada dos insumos, mantendo-se o mesmo nível de produto. Em outras palavras, dada uma combinação ótima dos insumos, a eficiência é a geração do máximo de produto obtido (*output*), utilizando os métodos e fatores de produção (*inputs*) necessários.

### **2.3 Ecoeficiência**

Como exposto nas seções anteriores, a eficiência é tratada de várias formas na literatura: eficiência técnica, eficiência econômica, eficiência global e eficiência ambiental.

A eficiência técnica considera a capacidade de uma unidade de tomada de decisão (DMU, sigla do inglês *Decision Making Unit*) gerar produtos e serviços de modo custo-eficiente e assegurar sua qualidade.

A eficiência econômica considera a capacidade de uma DMU atender a demanda por bens e serviços desejada, gerando custo mínimo de produção. Já a eficiência global ocorre quando simultaneamente a DMU opera sob a condição de eficiência técnica e econômica. Por último, a eficiência ambiental se propõe a explicar quanto os produtos produzidos eficientemente estão associados aos insumos ambientais.

O conceito de eficiência foi estendido para abranger a relação entre a produção e a sustentabilidade ambiental. Portanto, o conceito de ecoeficiência está fundamentado em dois conceitos essenciais: a produtividade e a sustentabilidade. A produtividade é um termo que se identifica com as análises de eficiência sob o ponto de vista econômico, enquanto a ‘sustentabilidade’ envolve a inclusão das abordagens ambientais e sociais nos estudos de produtividade. Esses conceitos têm sua relevância neste estudo pelo fato de permitirem avaliar concomitantemente os aspectos econômicos e socioambientais (SUZIGAN, 2020).

Foi a partir da necessidade da incorporação do meio ambiente aos processos econômicos que surgiu o conceito de ecoeficiência em 1970 por Freeman *et al.* (1973), primeiramente posta como uma estimativa empírica de sustentabilidade, um indicador de eficiência ambiental. Posteriormente, no início da década de 1990, o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) difundiu este conceito, através de um relatório relacionando a sustentabilidade e o desempenho ambiental de um sistema produtivo. É o que se pode verificar a seguir:

Ecoeficiência é alcançada por “gerar bens e serviços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e promova qualidade de vida, enquanto progressivamente reduzam os impactos ecológicos e intensidade dos recursos ao longo do ciclo de vida, ao nível pelo menos alinhado com a capacidade de suporte da terra”. (WBCSD, 2006, p.04).

A ecoeficiência é um índice que tem a capacidade de mostrar o quanto uma unidade tomadora de decisão está produzindo a partir do uso dos recursos naturais e qual o impacto ambiental que esta produção está causando (WBCSD, 2006).

Para Zhang *et al.* (2011), a ecoeficiência é um indicador que tem a capacidade de promover as empresas a desenvolver uma produção mais eficiente do ponto de vista econômico e ambiental e assim transformar o *trade off* da economia e meio ambiente em ganhos e vantagens, “win-win”.

O caminho para a sustentabilidade dentro do setor agropecuário é percorrido buscando a conciliação entre a maximização da produtividade e a minimização de custos

financeiros/econômicos e ambientais. Conforme Rosano-Peña e Gomes (2018), a agropecuária é uma atividade de múltiplas funções com um influente impacto no ecossistema.

## 2.4 Mensuração de Eficiência e Ecoeficiência

Assim como acontece para a mensuração da eficiência, a medição da ecoeficiência também pode ser feita por métodos paramétricos e não paramétricos, como mostrados a seguir.

### 2.4.1 Métodos paramétricos

O método paramétrico é o mais tradicional para mensurar a eficiência produtiva e utiliza a ferramenta de Análise de Fronteira Estocástica (*Stochastic Frontier Analysis* - SFA). Já para a análise de ecoeficiência, esse modelo é pouco utilizado devido à dificuldade de incluir na análise as externalidades necessárias para o estudo.

Conforme Mello *et al.* (2005), este método supõe uma relação funcional pré-definida entre os *inputs* e os *outputs* e geralmente usa médias para determinar o que poderia ter sido produzido, buscando calcular a eficiência por meio de uma função de produção, fazendo uso da linguagem de programação linear ou de máxima verossimilhança.

De maneira mais sucinta, o método paramétrico procura representar o Conjunto de Possibilidades de Produção (CPP) por meio da fronteira de eficiência (ou função de produção) [ $y = f(x)$ ], estabelecendo uma relação funcional entre os insumos ( $x$ ) e os produtos ( $y$ ), pressupondo o método de produção mais eficiente de uma amostra de  $k$  unidades tomadoras de decisão (DMUs) (BATESSE, 1992).

Conforme Lopes (2014) expõe, essa função de produção é definida da seguinte forma:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + e_k \quad (1)$$

onde:

$y$  = variável dependente, que indica a quantidade máxima de produtos em valores monetários;

$x_i$  = variáveis independentes, que representam as quantidades dos fatores utilizados na produção;

$e_k$  = erros; variáveis aleatórias independentes, identicamente distribuídas, não negativas e relacionadas a fatores específicos que contribuem para que as DMUs avaliadas não atinjam a máxima eficiência da produção.

Trabalhos como os de Battese (1992) apresentam uma revisão de literatura que analisa três modelos paramétricos: modelos de dados em painel, fronteira determinística e fronteira estocástica.

#### **2.4.2 Métodos não paramétricos**

Os modelos não paramétricos são baseados em programações matemáticas, possuem ampla aplicação na análise de dados e têm como objetivo construir uma fronteira de produção. Esse tipo de modelo se refere aos procedimentos de inferência estatística, em que as suposições sobre a forma de distribuição de dados não são feitas explicitamente, como argumenta Färe *et al.* (1989).

Existe uma vantagem atrelada ao método não paramétrico, a sua flexibilidade, pois, embora ainda apresente pressuposições necessárias para a construção de seu modelo, tal método dispõe de menores exigências para que aconteça a realização de seus procedimentos (ALMEIDA; REBELATTO, 2005).

Esse método se adapta aos sistemas que possuem múltiplos insumos e múltiplos produtos e impõe menos restrições quanto à tecnologia de produção, impedindo com que aconteçam restrições desnecessárias sobre a função de produção, pois isso seria algo que poderia afetar a análise e distorcer as estimativas da eficiência (GILLEN; LALL, 1997).

Segundo Rosano-Peña *et al.* (2020), o método não paramétrico não necessita que seja estabelecida previamente uma função estocástica de produção e um tipo de distribuição (comportamento) dos erros, o que ocasiona uma isenção das falhas decorrentes dessas especificações, pois esse modelo não necessita de funções predefinidas para analisar a tríade insumo-produto-eficiência (RIOS, 2005). Os paramétricos, por sua vez, necessitam de funções predefinidas, ajustando a regressão a partir das observações disponíveis.

Entre os métodos não paramétricos mais utilizados, encontra-se a Análise Envoltória de Dados (DEA), modelo desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978),

para avaliar a eficiência relativa das unidades tomadoras de decisão (DMUs) incorporando indicadores de entradas e saídas. A análise envoltória de dados não faz nenhuma hipótese funcional e considera que apenas através das observações das unidades mais produtivas é que se pode obter o máximo a ser produzido (BATESSE, 1992).

### ***2.4.3 Mensuração da Ecoeficiência na Agricultura***

A ecoeficiência na agricultura tem sido mensurada em diferentes contextos produtivos e escalas, para cultura isolada, em processos produtivos ao nível de fazenda ou ainda em termos de indicadores parciais de produtividade, isto é, indicadores que relacionam variáveis ambientais a produtos agrícolas.

A ecoeficiência é mensurada por meio de variáveis de insumos e produtos associados ao meio ambiente. Os insumos empregados na produção agropecuária podem ser distribuídos em categorias que definem sua contribuição ao produto, a saber: (i) fatores ambientais, que incluem insumos (e.g. energia, adubo, defensivos, emissões atmosféricas) e processos (aquecimento global, acidificação, eutrofização); (ii) fatores técnicos (trabalho, máquina, infraestrutura); e (iii) fatores econômicos (renda do trabalho, valor adicionado, PIB).

Salgado (2007) explana que, devido à necessidade de se mensurar e quantificar a ecoeficiência, surgiu o termo “indicadores de ecoeficiência”. Alguns dos indicadores que são utilizados para mensurar a ecoeficiência mostram como a economia se relaciona com o meio ambiente e contribuem com a gestão ambiental a partir da análise da eficiência produtiva. Segundo Suzigan, e Guarnieri (2020), os dois métodos mais amplamente utilizados para mensurar a ecoeficiência são: (i) Abordagem da Razão e (ii) Análise Envoltória de Dados (DEA).

A Abordagem da Razão consiste em dividir uma variável de produto ou resultado (desejáveis ou indesejáveis) por uma variável técnica ou ambiental, por exemplo, razão da quantidade dos produtos desejáveis em relação aos insumos (eficiência técnica); razão do valor do sistema de produção (e.g. receita bruta, PIB) em relação ao impacto ambiental do produto (emissões de CO<sub>2</sub>); razão dos produtos indesejáveis em relação aos produtos desejáveis; e a razão da soma ponderada dos produtos em relação à soma dos insumos totais (produtividade total dos fatores).

Erkko *et al.* (2005) apresentam a ecoeficiência como a razão entre o valor da produção agregada e o valor do impacto ambiental agregado, como apresentado na equação a seguir:

$$\text{Ecoeficiência} = \frac{\text{valor da produção agregada}}{\text{impacto ambiental agregado}} \quad (2)$$

De acordo com a Equação 2, quanto maior o valor econômico agregado e menor o impacto ambiental, maior o índice de ecoeficiência.

Como já mencionado anteriormente, o DEA é uma abordagem não paramétrica baseada em programação matemática que dispensa a especificação de funções ou a atribuição de pesos aos insumos e produtos. Charnes, Cooper e Rhodes (1978) conceberam o modelo básico, denominado DEA-CCR, que possui retornos constantes à escala. Banker, Chanes e Cooper (1984) refinaram o modelo básico para incorporar retornos variáveis à escala. Por último, Tone (2001) desenvolveu o modelo DEA-SBM baseado nas medidas de folgas dos insumos (SBM, sigla do inglês *Slacked Based Model*), que permite tratar os produtos indesejáveis.

A aplicação do DEA na mensuração de ecoeficiência cresceu significativamente nos últimos anos, principalmente, pelo maior interesse dedicado a analisar a eficiência econômica e ecológica do processo produtivo e pela habilidade do DEA de atribuir pesos aos componentes ambientais, sendo esta etapa necessária na agregação dos indicadores de ecoeficiência.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo, demonstram-se os meios e os instrumentos utilizados para responder à problemática abordada neste estudo. Além disso, serão apresentados os dados utilizados, bem como as suas fontes de obtenção e o tratamento dado a eles para que fossem obtidos os índices de ecoeficiência para esta pesquisa.

#### 3.1 Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho compreende a área do bioma Caatinga, que ocupa uma área equivalente a 11% do território nacional (844.452 km<sup>2</sup>). Inserido no contexto de clima semiárido, é o principal bioma da região Nordeste, pois está presente em seus nove estados, além de pertencer também ao extremo norte de Minas Gerais.

Com relação à biogeografia, tem-se, de acordo com Tabarelli *et al.* (2018), a classificação da Caatinga como o bioma de área florestal seca de maior riqueza em termos de fauna, flora e espécies endêmicas, se comparado a outras regiões semiáridas do mundo. Esta é uma região considerada, segundo especialistas, a mais sensível à interferência humana e às mudanças climáticas, além de se tratar do bioma semiárido mais biodiverso do planeta.

Segundo informações do Ministério do Meio Ambiente (MMA), as ações antrópicas já prejudicaram cerca de 80% dos ecossistemas originais da Caatinga, devido aos desmatamentos e às queimadas, o que levou aos formuladores de políticas ambientais realizarem iniciativas para a criação de mais unidades de conservação federais e estaduais no bioma, além de promoverem alternativas para o uso sustentável da sua biodiversidade.

As áreas que pertencem a esse bioma enfrentam, desde o período colonial, dificuldades para seu desenvolvimento econômico devido à aridez da terra e às instabilidades das precipitações pluviométricas. Além de tais adversidades, essa região tem como principal atividade econômica a agropecuária, que se sustenta devido às irrigações artificiais, pois as temperaturas médias anuais são elevadas, oscilando entre 25°C e 29°C, características do seu clima semiárido.

O Semiárido é classificado também como um conceito político, definido pela legislação como uma região sujeita a períodos críticos de longas estiagens, embora também tenha a sua conotação natural de clima semiárido. Após Conferência

Internacional das Nações Unidas, em 1977, a região que antes era denominada como Polígono das Secas passou a se chamar Semiárido Brasileiro.

O Semiárido brasileiro foi mencionado na Constituição Federal de 1988 como destino de recursos financeiros para programas de financiamento que estimulassem a produtividade da Região Nordeste. Em razão do Semiárido ser o principal foco de debates políticos, a fundamentação do seu conceito ocorreu após a Lei 7.827, de 27 de setembro de 1989, regulamentada pela Constituição Federal, onde naquele mesmo ano, foi definida em portaria pela Autarquia responsável (SUDENE) vinculada ao Ministério da Integração Nacional. Inicialmente caracterizou-se o Semiárido como uma região com características de precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800mm.

Após essa denominação, a Autarquia incorporou novas portarias que trouxeram novas regulamentações para que os municípios pudessem fazer parte dessa região e, além disso, realiza-se uma revisão, a cada década, devido às possíveis mudanças climáticas.

Conforme ASA (2019), o semiárido brasileiro é uma região onde vivem aproximadamente 27 milhões de brasileiros, o que corresponde a 12% do território nacional, contendo 1,03 milhão de km<sup>2</sup>. Abrange 1262 municípios em dez estados brasileiros, dos quais os mais populosos são Bahia (com 253 municípios), Paraíba (194), e Ceará (175), sendo que o Maranhão passou o semiárido legal em 2017. O Semiárido compreende a maior concentração da população rural brasileira e tem a maior parte do seu território coberto pelo bioma da Caatinga. A densidade populacional da região semiárida, conforme o último censo demográfico foi de 23,06 hab km (MEDEIROS *et al.*, 2012).

De acordo com a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), o semiárido brasileiro é delimitado a partir de suas condições climáticas dominantes de semiaridez: temperaturas relativamente altas, com médias anuais de 23 °C a 27°C e precipitações pluviométricas escassas, irregulares e concentradas em um curto período de tempo (em média de três a quatro meses), o que acarreta um déficit hídrico desafiador para as famílias agricultoras que dependem da agricultura e da criação de animais para sobreviver.

Apesar dos entraves climáticos que castigam a população do semiárido, a região concentra quase um milhão e meio de estabelecimentos agropecuários familiares, - cerca de 30% do total de estabelecimentos agropecuários familiares do Brasil - o que reflete um baixo dinamismo econômico (IBGE, 2019).

A Tabela 21 (ver Anexo A) denota os valores das proporções por áreas das variáveis utilizadas de todos os biomas do Brasil. Em destaque na tabela, encontram-se os valores para a Caatinga. Diante das informações, verifica-se que a Caatinga possui o bioma com a maior área degradada entre todos os biomas. Isso caracteriza a necessidade da urgência de instrumentos de políticas públicas e novos estudos capazes de diminuir a degradação presente nessa região.

Em relação às áreas de matas naturais, que abrange inclusive as áreas de florestas naturais e plantadas, a Caatinga compreende 19% da totalidade dos biomas, um valor significativo que revela a conservação e a preservação dessas florestas, que tem como uma de suas funções garantir a proteção das cabeceiras dos rios, essenciais para prover a água e dar sustentabilidade para as espécies da fauna, da flora e das populações que neles habitam.

O valor total das receitas obtidas na Caatinga, correspondentes ao setor agropecuário, gerou 5,8% dos valores percentuais totais, um valor baixo em comparação aos demais. Apesar disso, esse é o bioma que mais gera empregos neste setor, visto que sua produção exige uso intensivo de mão de obra e baixo fator tecnológico, características marcantes de uma produção mais voltada para pequenas empresas agrícolas ou agricultura familiar.

Sobre as despesas com o uso de agrotóxicos, o bioma apresentou o menor valor total expresso por porcentagem, apesar de ser o terceiro bioma com maior uso das terras para áreas plantadas.

### **3.2 Métodos de Mensuração de Ecoeficiência**

Neste estudo, a abordagem escolhida para mensurar a ecoeficiência dos municípios localizados no bioma Caatinga, no semiárido nordestino, foi o DEA-CCR (CHARNES; COOPER; RHODES, 1979), cujos pressupostos foram adotados para construir a fronteira de produção sob orientação a insumos e retornos constantes à escala.

#### ***3.2.1 Análise Envoltória de Dados***

A DEA é considerada uma técnica não paramétrica que utiliza a programação linear e se baseia em uma série de questões de otimização para calcular e comparar as eficiências de diferentes sistemas produtivos, seja de bens ou de serviços, em que esta

medida de eficiência está relacionada à construção de uma fronteira de eficiência. Para isso, é pré-requisito que as unidades comparadas sejam homogêneas, ou seja, produzam os mesmos produtos através da utilização dos mesmos insumos (BARBOSA; FUCHIGAM, 2018).

Estima-se um índice de eficiência medindo a distância que separa cada DMU da fronteira de possibilidades de produção. Assim, as unidades produtivas obterão índices de eficiência entre [0 e 1]. Dessa forma, se a DMU obtiver um índice de eficiência igual a 1, significa que seu desempenho foi 100% e não poderá ser melhorado, por conseguinte, esta DMU será um *benchmark*. Valores menores do índice de eficiência significarão uma unidade ineficiente (GOMES *et al.*, 2003); (FERREIRA; GOMES, 2009); (BOZOGLU *et al.*, 2006).

Conforme Golany e Roll (1989), ao fazer uso do modelo DEA, é necessário levar em consideração três fases. A primeira fase consiste em identificar as DMUs que farão parte da amostra da análise. A segunda fase refere-se à seleção de variáveis (*inputs* e *outputs*) mais relevantes e adequadas para estabelecer a eficiência das DMUs. Por último, a terceira fase consiste em determinar o melhor e mais adequado modelo DEA e o tipo de orientação do mesmo.

Como argumenta Pinto e Coronel (2020), a análise da DEA ocorre diferente de outras metodologias, pois ela não é voltada para uma análise de tendência central, mas sim para as fronteiras. Desse modo, de forma mais trivial, o problema de otimização do DEA para cada unidade tomadora de decisão analisada pode ser escrito da seguinte maneira:

$$\frac{\sum_j u_j Y_{jk}}{\sum_i v_i X_{ik}} = \frac{u Y_k}{v X_k} \quad (3)$$

em que:  $u$  e  $v$  são pesos aos de insumos e produtos;  $X_k$  são insumos; e  $Y_k$  são produtos. Por convenção, pressupõe-se  $\frac{u Y_k}{v X_k} \leq 1$ , o que assegura que os índices de eficiência irão variar no intervalo entre 0 e 1 (LINS *et al.* 2007).

### 3.2.1.1 Modelos do DEA

A abordagem DEA evoluiu à medida que os pressupostos sobre os retornos à escala e o tratamento dos insumos e produtos foram sendo alterados. Os dois modelos DEA amplamente utilizados são: (i) o modelo precursor, DEA-CCR, com retornos constantes à escala, formulado por Charnes, Cooper e Rhodes (1979); (ii) o modelo DEA-BCC, com retornos variáveis à escala de Banker, Charnes e Cooper (1984); e (iii) o modelo DEA-SBM, baseado nas medidas de folgas dos insumos que permitem incluir na análise produtos indesejáveis, proposto por Tone (2001).

O retorno constante de escala (CRS ou CCR) pressupõe que, dada a fronteira de possibilidade de produção, qualquer variação nos insumos produzirá uma variação proporcional nos produtos. Já o segundo modelo (VRS ou BCC) pressupõe que os retornos não são proporcionais à escala, isto é, considera que os retornos operam com diferentes níveis de escala: retornos crescentes, constantes e decrescentes, e substitui o axioma da proporcionalidade pelo axioma da convexidade.

Ambos os modelos, CRS ou CCR e VRS ou BCC, podem ser construídos a partir de duas formas básicas de maximização e eficiência, a partir da orientação insumo (visando reduzir o consumo de insumos, mantendo o nível de produção), e da orientação produto (aumentando a produção, mantendo inalterados os recursos usados) (GOMES; MANGABEIRA; SOARES DE MELLO, 2005).

Os índices do modelo BCC com orientação ao produto e ao insumo não são iguais como acontece no CCR, devido à convexidade da fronteira eficiente. Quando se utiliza o modelo BCC ou VRS desejando minimizar os insumos, sem alteração no nível de produção, segundo Mello *et al.* (2005), a formulação para modelos duais dos PPLs pode ser descrita através de:

$$Max\ Eff_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} + u_* \quad (4)$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1 \quad (5)$$

$$-\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} + u_* \leq 0, \forall k \quad (6)$$

$$v_i, u_j \geq 0, u_* \in \mathbb{R}$$

Já para o modelo BCC ou VRS, orientados a *outputs*, a equação é apresentada a seguir:

$$\text{Min } Eff_0 = \sum_{j=1}^r v_j x_{i0} + v_* \quad (7)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{j0} = 1 \quad (8)$$

$$-\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - v_* \leq 0, \forall k \quad (9)$$

$$v_i, u_j \geq 0, u_* \in \mathbb{R}$$

onde: as variáveis  $u_*$  e  $v_*$  representam as variáveis duais associadas à condição  $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$  e são interpretados como valores de escala. Quando nulas, indicam retornos constantes; quando negativas, indicam retornos crescentes; quando positivas, indicam retornos decrescentes de escalas. Enquanto que a formulação do modelo CCR orientada aos *inputs* é apresentada conforme:

$$\text{Max } Eff_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \quad (10)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1 \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \quad (12)$$

$$v_i, u_j \geq 0, \forall i, j$$

em que os pesos  $v_i$  e  $u_j$ , são as variáveis de decisão.

Seguindo a abordagem de Araújo (2021), os escores de ecoeficiência são distribuídos em cinco faixas ou níveis, cada nível associado a um intervalo de escores previamente especificado. A Tabela 1 mostra a classificação dos índices de ecoeficiência adotada neste estudo.

Tabela 1 – Classificação dos Índices de Ecoeficiência.

Nível	IE
Muito baixa	$0 < IE \leq 0,20$
Baixa	$0,20 < IE \leq 0,40$
Intermediária	$0,40 < IE \leq 0,60$
Alta	$0,60 < IE \leq 0,80$
Muito Alta	$0,80 < IE \leq 1$

Fonte: Adaptado de Araújo (2021).

### 3.2.2 Modelos de Regressão

Como segundo estágio da análise de ecoeficiência, os escores estimados de ecoeficiência obtidos pelo modelo DEA-BCC são analisados por meio de regressões. Esse segundo estágio tem como objetivo avaliar a relação entre as variáveis de insumos e produtos e os índices de ecoeficiência. Com isso, espera-se obter padrões e tendências que possam auxiliar na compreensão dos resultados e, conseqüentemente, na orientação de políticas públicas.

Dois modelos de regressão são utilizados: (i) regressão Tobit; e (ii) regressão Logit. A regressão Tobit foi selecionada com o propósito de identificar as variáveis significantes na formação do índice de ecoeficiência e a direção de mudança no índice, dadas as mudanças na variável independente. Já a regressão Logit foi escolhida para modelar a participação, em termos probabilísticos, dos municípios em cada uma das faixas de eficiência. A seguir, uma breve descrição da análise de regressão é apresentada.

### 3.2.2.1 Modelo de Regressão Tobit

Para averiguar as variáveis independentes que influenciam na ecoeficiência dos municípios do semiárido nordestino, foi utilizado um modelo de regressão censurada Tobit, cuja equação foi desenvolvida por James Tobin (1958).

A base do modelo é similar à regressão de mínimos quadrados ordinários (MQO), mas assume uma distribuição normal truncada ou censurada. De acordo com Greene (2012), esse modelo é apresentado pela equação:

$$y_i^* = x_i' \beta + \varepsilon_i \quad (13)$$

em que:  $y_i^*$  são *scores* de ecoeficiência;  $\beta$  é o vetor dos parâmetros a ser estimado;  $x_i'$  são vetores das variáveis explicativas que hipoteticamente estão relacionados com a ecoeficiência; e  $\varepsilon$  é o termo do erro que se pressupõe ser normalmente distribuído, com média zero e variância constante,  $\sigma^2$ , ou seja, ( $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ ).

Apesar de o escore de eficiência possuir limite superior igual a um, Greene (2003) sugeriu usar a truncagem em zero. Para isso, o escore de ecoeficiência encontrado por meio do DEA é transformado pela seguinte fórmula:

$$y_i^* = \left( \frac{1}{\phi} \right) - 1 \quad (14)$$

A partir dessa transformação, os escores menores que 1 tornam-se valores positivos, permitindo que a equação estimada (14) revele quais as variáveis que reduzem a ineficiência.

Diante do exposto, o modelo *Tobit* padrão assume que  $\tau = 0$  e que  $y_i^*$  seja uma variável latente (não observada), podendo ser captada por meio de uma variável  $y_i$ , ou seja, os dados são censurados em zero e podem ser definidos da seguinte forma, para a observação  $i$ :

$$y_i = 0 \text{ se } y_i^* \leq 0 \quad (15)$$

$$y_i = y_i^* > 0 \quad (16)$$

Segundo Greene (2012), o valor esperado de uma amostra censurada para o caso particular de  $\tau = 0$  pode ser obtido da seguinte maneira:

$$E [y_i | x_i] = \Phi \left( \frac{x_i' \beta}{\sigma} \right) (x_i' \beta + \sigma \lambda_i) \quad (17)$$

em que:  $\Phi (\cdot)$  é a função de distribuição acumulada normal de  $\lambda_i$ . Por sua vez, esse parâmetro é o inverso da razão de Mills, definido como:

$$\lambda_i = \frac{\phi \left[ \frac{0 - x_i' \beta}{\sigma} \right]}{1 - \Phi \left[ \frac{0 - x_i' \beta}{\sigma} \right]} = \frac{\phi (x_i' \beta)}{\Phi (x_i' \beta)} \quad (18)$$

em que:  $\phi (\cdot)$  é a função de densidade de probabilidade normal.

Para estimar o modelo Tobit, é utilizado o Método de Máxima Verossimilhança, cuja função de verossimilhança é dada por (Greene, 2003):

$$\ln L = \sum_{y_i=0} -\frac{1}{2} \left[ \log(2\pi) + \ln \sigma^2 + \frac{(y_i - x_i' \beta)^2}{\sigma^2} \right] + \sum_{x_i=0} \ln \left[ 1 - \Phi \left( \frac{x_i' \beta}{\sigma} \right) \right] \quad (19)$$

em que as estimativas de  $\beta$  são tais que maximizam a função de máxima verossimilhança de  $L$ .

### 3.2.2.2 Modelo Logit

O modelo Logit é usado neste estudo para avaliar os fatores determinantes que fazem um município pertencer a uma faixa do índice de ecoeficiência. A variável dependente dicotômica representa a variável latente da participação do município na faixa de ecoeficiência, podendo assumir o escore 0 ou 1, no qual 1 indica sua participação na faixa de interesse, e 0, não participação nesta faixa. A variável latente relaciona-se linearmente ao conjunto de variáveis independentes (insumos e produtos) utilizado para estimar os índices de ecoeficiência.

O modelo Logit estima a probabilidade que um município tem de se enquadrar em certa faixa de ecoeficiência. Matematicamente, o modelo Logit é expresso como:

$$\Pr(IE_i < IE_j \leq IE_s | \mathbf{x}) = \Pr(v = 1 | \mathbf{x}) = \Psi(v_j^*) \quad (20)$$

em que:  $IE_i$  é o limite inferior da faixa IE;  $IE_s$  é o limite superior da faixa do IE;  $IE_j$  é o escore estimado do município  $j$ ;  $\mathbf{x}$  é o vetor de variáveis independentes;  $v$  é a variável latente de participação do município na faixa de IE; e  $\Psi(v_j^*)$  é a função de distribuição cumulativa (FDC). Para o modelo Logit, utiliza-se o FDC da distribuição logística que é dada por:

$$\Pr(v = 1 | \mathbf{x}) = \frac{\exp(\mathbf{x}\beta)}{1 + \exp(\mathbf{x}\beta)} \quad (21)$$

Os parâmetros da função são estimados usando a técnica de máxima verossimilhança. O coeficiente  $\beta_j$  mede o efeito marginal  $\partial v / \partial x_j$  que varia com o nível de  $x_j$ , portanto, causando variação em  $\Pr(v = 1 | \mathbf{x})$ , já que  $\Psi(\cdot)$  é função não linear de  $\mathbf{x}$ .

Portanto,  $\beta_j$  mede o efeito marginal da variável independente sobre a probabilidade de participar na faixa sendo considerada. Se o coeficiente da variável independente assumir valor positivo, significa que um aumento marginal na quantidade desta variável irá aumentar as chances de o município pertencer à faixa de ecoeficiência de interesse. Por outro lado, se o coeficiente da variável independente for negativo, significa que um aumento marginal na quantidade desta variável irá diminuir as chances de o município pertencer à faixa de ecoeficiência.

### 3.3 Dados e Variáveis

O presente estudo tem como finalidade analisar a ecoeficiência agropecuária dos municípios que compõem o bioma da Caatinga que está localizado no semiárido na região Nordeste do Brasil. O total de municípios na Região Nordeste soma 5.551 municípios, dos quais 1.262 (ou 22,7%) são considerados de clima semiárido e 1.210 (ou 21,8%) municípios possuem o bioma Caatinga no seu território, segundo classificação do IBGE. A população da pesquisa é formada pelos municípios que estão inseridos no semiárido e possui o bioma Caatinga no seu território, correspondendo a 1.093 municípios (ou 19,7%). Neste estudo, o produto agropecuário compreendeu os produtos das seguintes atividades: lavouras temporárias, lavouras permanentes e a pecuária. A escolha dessas atividades se deu em função da disponibilidade de dados secundários.

O conjunto de tecnologias subjacente à função de produção que estabelece a relação entre os insumos e os produtos agropecuários é descrito por meio de variáveis econômicas e ambientais. Essas variáveis envolvem insumos e produtos clássicos, isto é, tipicamente utilizados na produção agropecuária, assim como variáveis ambientais que incluem produtos indesejáveis e as próprias características do bioma Caatinga, que podem condicionar o desempenho da produção.

A escolha das variáveis para esta pesquisa foi feita a partir da revisão de literatura sobre a ecoeficiência agropecuária, com o intuito de capturar os efeitos econômicos e ambientais que condicionam a ecoeficiência dentro da área delimitada para o estudo.

Conforme Lins e Meza (2000), quando a disponibilidade de variáveis é limitada e as DMU's são muitas, como ocorre na maioria dos casos reais, dispensa-se o uso de técnicas de seleção de variáveis, pois neste caso a escolha das variáveis não trará mudanças significativas nos resultados do modelo DEA. Além disso, Senra *et al.* (2007) ressaltam que o pesquisador deve ser parcimonioso quanto ao número de variáveis consideradas no modelo, pois um número excessivo de variáveis pode inviabilizar a execução do modelo DEA.

Os dados utilizados na pesquisa são de natureza secundária, extraídos de base de dados de acesso público. O Quadro 1 apresenta uma breve descrição das variáveis (insumos e produtos) utilizadas na elaboração dos modelos e as fontes dos dados de onde foram retiradas. Os produtos, também chamados de *outputs*, foram classificados como econômicos - referentes as receitas de cada subsetor, e ambientais – com as variáveis desejáveis e indesejáveis resultantes. Aquelas variáveis cujos valores são medidos em unidades monetárias Real (R\$) estão em preços correntes do ano de 2017.

**Quadro 1.** Apresentação das variáveis utilizadas na mensuração de ecoeficiência.

Variável	Descrição	Fonte/Tabela
<i>Inputs Econômicos</i>		
x1	Área utilizada com pastagens	Área dos estabelecimentos utilizada para pastagens naturais e pastagens em boas condições (não degradadas), em hectares.
x2	Área utilizada com lavouras	Área dos estabelecimentos utilizada para produção agrícola (lavouras temporárias e permanentes), em hectares.

**Quadro 1.** Apresentação das variáveis utilizadas na mensuração de ecoeficiência (conclusão).

Variável		Descrição	Fonte/Tabela
x3	Capital	Número de tratores, número de máquinas e implementos agrícolas existentes nos estabelecimentos agropecuários em 2017.	IBGE, Censo Agro (tabela 6874)
x4	Despesas com insumos	Despesas com insumos para produção vegetal e animal (adubos, corretivos, sementes, compra de animais, etc.), em mil reais (R\$); exceto agrotóxicos.	IBGE, Censo Agro (tabela 6899)
x5	Mão de obra	Número do pessoal ocupado nos estabelecimentos agropecuários em 2017 (assalariado e familiar).	IBGE, Censo Agro (tabela 6888)
x6	Queimadas	Consiste na quantidade média de focos de incêndio ocorridos em cada município por ano, para o período de 2017.	FIRMS
x7	Uso de agrotóxicos	Valor das despesas com agrotóxicos para a produção vegetal e animal.	IBGE, Censo Agro (tabela 6881)
<b><i>Outputs Econômicos</i></b>			
y1	Receita agrícola	Receita obtida com venda de produtos vegetais, em mil reais (R\$).	IBGE, Censo Agro (tabela 6901)
y2	Receita pecuária	Receita obtida com venda de produtos de origem animal, em mil reais (R\$).	IBGE, Censo Agro (tabela 6901)
<b><i>Outputs Ambientais</i></b>			
y3	Área preservada	Consiste na área de matas e florestas dos estabelecimentos destinada à preservação permanente (APPs) ou reserva legal, em hectares.	IBGE, Censo Agro (tabela 6881)
y4	Área de pastagens degradadas	Área de pastagens em más condições, em hectares.	IBGE, Censo Agro (tabela 6881)
y5	Emissão de gases do Efeito Estufa	Consiste nas emissões de CO2 realizadas pelos municípios brasileiros referentes ao setor da agropecuária, medidas em milhões de toneladas de CO2 equivalente (CO2e).	SEEG

Fonte: Elaboração própria.

Nota: As áreas com pastagens degradadas, segundo o IBGE (2019), eram inicialmente produtivas, porém, assumiram esta condição devido à ausência de manutenção.

A seleção das variáveis respeitou a classificação sugerida por Koeijer *et al.* (2002), que propôs quatro categorias de variáveis, a saber: (i) uso da terra ( $x_1$  = área utilizada com pastagens;  $x_2$  = área utilizada com lavouras); (ii) insumos do trabalho ( $x_5$  = mão de obra); (iii) utilização do capital ( $x_3$  = capital); e iv) insumos intermediários e de custeio ( $x_4$  = despesas com insumos;  $x_7$  = uso de agrotóxicos), e produtos monetários ( $y_1$  = receita agrícola;  $y_2$  = receita pecuária).

As variáveis ambientais foram incluídas no modelo como insumos ( $x_6$  = queimadas) e produtos ( $y_3$  = área preservada,  $y_4$  = área de pastagens degradadas e  $y_5$  = emissão de gases de efeito estufa).

A variável ambiental  $x_6$  (queimada) é considerada como insumo na função de produção agropecuária. Os dados de queimadas foram compilados a partir dos registros de focos de incêndio ocorridos no Brasil durante o período de 2017. Esses dados foram extraídos do *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), que dispõe de dados sobre focos de incêndios ocorridos em todo o planeta.

A variável ambiental  $y_3$  (área preservada) é tratada como uma externalidade ambiental positiva, ou seja, como um fator que proporciona economia ou ganho de bem-estar para a sociedade, portanto, um produto desejável, embora indireto, da agropecuária.

Dois variáveis foram classificadas como externalidades negativas –  $y_4$  = área de pastagens degradadas e  $y_5$  = emissões de gases de efeito estufa –, uma vez que causam deseconomia ou perda de bem-estar para a sociedade, sendo assim considerados produtos indesejáveis. Os dados de área de pastagens degradadas foram extraídos do Censo Agropecuário 2017, enquanto os dados de emissões de gases de efeito estufa foram extraídos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

No modelo de otimização do DEA, para calcular os escores de eficiência técnica, pressupõe-se que as quantidades dos produtos são maximizadas, enquanto as quantidades dos insumos são minimizadas. Da mesma forma, no modelo DEA de ecoeficiência, a racionalidade do modelo também é respeitada, porém, deve-se ter cuidado para os produtos indesejáveis que deverão ser minimizados para que a ecoeficiência seja alcançada. Nesse sentido, mesmo a variável ambiental indesejável sendo um produto, deve ser minimizada ao invés de maximizada.

Para contornar esse problema, Caiado *et al.* (2020) recomenda que os *outputs* indesejáveis sejam incorporados como *inputs*, objetivando obter as eficiências das

DMU's. Nesse intuito, neste estudo, utiliza-se o artifício matemático para minimizar o produto indesejável considerando esta variável como insumo. Desta forma, para fins de estimativa dos escores de ecoeficiência, a variável ambiental  $y_3$  é considerada como produto desejável, enquanto as variáveis ambientais  $y_4$  e  $y_5$  são consideradas como insumos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os principais resultados encontrados para a ecoeficiência dos municípios pertencentes ao Semiárido Nordeste.

O Nordeste brasileiro compreende um total de 1793 municípios, distribuídos em nove estados, dos quais metade possui mais de 85% de sua área caracterizada pelo clima semiárido, sendo o Ceará o estado que possui a maior faixa territorial com essa característica. Esse clima ocupa 12% do território nacional e abrange atualmente 1.171 municípios da região Nordeste, o que justifica a relevância que essa área possui para o cenário brasileiro e principalmente para a região Nordeste (SUDENE, 2021).

Para a análise de ecoeficiência no Semiárido nordestino, utilizam-se as informações do último censo agropecuário (IBGE). Durante a coleta de dados, foi verificada a ausência de variáveis para alguns municípios, fato este que impossibilitou incluir todos os municípios que compunham o semiárido nordestino dentro da análise. Dessa forma, o trabalho foi composto por 1.093 municípios que detinham as informações necessárias para participar do banco de dados.

### 4.1. Estatística Descritiva das Variáveis

A Tabela 2 apresenta os valores das estatísticas descritivas para cada uma das variáveis apresentadas no Quadro 1, demonstrando assim um panorama geral da agropecuária dentro da população em análise. Desde já, é notável perceber que existem variáveis com desempenhos distintos entre si, como por exemplo, as receitas agropecuárias, áreas de lavouras e despesas com insumos que apresentaram os maiores graus de dispersão das variáveis escolhidas, denotando assim a elevada disparidade entre os perfis produtivos dos municípios analisados.

Tabela 2 - Estatísticas Descritivas dos insumos e produtos.

Variável	Média	DP	Mín.	Máx.
<b>Receitas agropecuárias totais</b>	14.605,44	49.343,39	1	1.025.368,00
<b>Área preservada</b>	14.818,84	24.848,22	1	332.725
<b>Área utilizada com lavouras</b>	35.933,26	46.302,46	1	539.948
<b>Área utilizada com pastagens</b>	11.419,42	16.106,61	1	144.067

Tabela 2 - Estatísticas Descritivas dos insumos e produtos (conclusão).

Variável	Média	DP	Mín.	Máx.
<b>Mão de obra</b>	4.490,03	4.418,05	1	44.259
<b>Capital</b>	59,01	131,24	1	1.625
<b>Despesas com insumos</b>	11.848,16	35.924,51	1	958.695
<b>Emissão gases de efeito estufa</b>	377,14	413,47	6,71	4.440,13
<b>Áreas degradadas</b>	2.528,56	5.074,90	1	53.075
<b>Uso de agrotóxicos</b>	712,04	7.153,08	1	161.395
<b>Queimadas</b>	1,79	4,21	0,08	69,33

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Receitas agropecuárias totais correspondem à soma das receitas agrícolas e pecuária. DP = desvio padrão; Mín. = valor mínimo; Máx. = valor máximo.

Os municípios inseridos no bioma Caatinga que compõe as DMUs da análise somam 1.093. Desse total, dois municípios fazem parte do estado do Maranhão, os demais fazem parte de estados da região Nordeste.

Considerando que as DMUs são os municípios, que estão distribuídos entre os estados da região Nordeste, era de se esperar marcante heterogeneidade na população analisada. Essa heterogeneidade pode ser determinada pelas diferenças existentes quanto ao nível de desenvolvimento da agropecuária dos municípios, a própria disponibilidade de recursos naturais e as condições edafoclimáticas predominantes em cada município.

#### **4.1.1 Insumos Econômicos**

Neste tópico será apresentada a avaliação da estatística descritiva para cada variável incluída aos *inputs* deste estudo, com o objetivo de observar o comportamento destas para cada estado.

##### **4.1.1.1 Área de Pastagens**

A área de pastagens, juntamente com a área plantada na região semiárida, corresponde a toda a área utilizada para produção dentro do setor agropecuário.

Nas Tabelas 3 e 4, que representam as estatísticas descritivas decompostas por estados, nota-se que ambas possuem a Bahia como o apropriador máximo de terras para esses usos, seguido do Ceará.

Observa-se que, na Tabela 3, existe uma grande diversidade entre os valores máximos e mínimos obtidos dentro de cada estado para os insumos entre os seus municípios. O resultado chama a atenção para o Sergipe, a segunda maior média da análise com 15.650 ha utilizados em áreas de pastagens. Sem levar em consideração os valores para o Maranhão, os estados como a Paraíba, o Piauí e o Rio Grande do Norte indicaram ter em média as menores áreas entre seus municípios por hectare de terra com áreas de pastagens, enquanto que a Bahia é o estado que apresenta o maior grau de dispersão entre seus valores com os valores máximos para este insumo.

Tabela 3 – Estatística Descritiva das Áreas de Pastagens por Estado no ano de 2017, em hectare.

Variável	N.	Média	DP	Mín.	Máx.
AL	37	10.141	6.570,93	1.122	28.232
BA	253	23.433	22.548,58	134	144.067
CE	175	11.299	18.023,45	0	116.169
MA	1	4.698	NA	4.698	4.698
PB	194	4.141	4325,79	0	32.789
PE	119	10.482	12.846,08	0	93.395
PI	139	6.816	8.317,07	0	67.715
RN	147	5.164	5.545,09	0	26.206
SE	28	15.650	11.802,88	1.189	43.766

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1.2 Área plantada

A análise da Tabela 4 apresenta o fator de produção terra sendo representado pela área plantada, pois este é o principal fator de produção agrícola. Entre os resultados observados, com exceção do Maranhão, que participa desta análise com apenas um município, o estado que apresentou uma menor média das áreas plantadas foi Alagoas com 17.038 ha, a menor dispersão entre os seus valores. Entre os valores mínimos, Sergipe foi aquele que obteve o maior valor de terra plantada, 3.242 ha (apesar de ser o menor estado em extensão territorial e população da análise). Este resultado foi obtido devido à sua ascensão no cenário nacional dentro do setor agropecuário.

Tabela 4 – Estatística Descritiva das Áreas Plantadas por Estado no ano de 2017, em hectare.

Variável	N.	Média	DP	Mín.	Máx.
AL	37	17.038	10.439,65	1.177	41.376
BA	253	67.005	68.112,16	7.085	539.948
CE	175	37.174	43.867,14	311	313.308
MA	1	19.199	NA	19.199	19.199
PB	194	15.404	12.861,98	0	72.007
PE	119	30.245	32.338,25	512	167.947
PI	139	38.399	40.287,21	2.621	236.681
RN	147	16.630	16.700,27	0	91.827
SE	28	28.500	21.496,52	3.242	86.000

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1.3 Capital

Conforme apontado na Tabela 5, a participação do capital no total de estabelecimentos rurais por município de cada estado nos revela um fato atípico em que Sergipe obteve valores acima da média por estado (155,5 und), com uma variação de 167,27 und entre seus municípios. Tal fato pode ser explicado pelo estímulo de investimentos de seu governo no setor agropecuário nos últimos anos; enquanto que a Bahia obteve uma média de 132,9 unidades de maquinário por município, porém adquiriu os valores máximos. Já os demais estados apresentaram os valores menores nessa categoria, configurando assim um total de baixo investimento em maquinário para a região semiárida, indicando que nos estados nordestinos seus estabelecimentos operam com um nível tecnológico insuficiente para o desenvolvimento de suas atividades produtivas.

Tabela 5 – Estatística Descritiva do Capital por Estado no ano de 2017, em unidades de maquinário.

Variável	N.	Média	DP	Mín.	Máx.
AL	37	56,03	50,7	3	196
BA	253	132,9	219,43	0	1.625,00

Tabela 5 – Estatística Descritiva do Capital por Estado no ano de 2017, em unidades de maquinário (conclusão).

Variável	N.	Média	DP	Mín.	Máx.
CE	175	40,78	55,26	0	373
MA	1	27	NA	27	27
PB	194	14,21	17,85	0	84
PE	119	57,57	128,6	0	1.324,00
PI	139	20,5	45,17	0	426
RN	147	32,12	64,74	0	440
SE	28	155,5	167,27	6	672

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1.4 Despesas com insumos

A Tabela 6 mostra as despesas com insumos e retrata o tamanho da propriedade rural que as utilizam. Dessa forma, consegue-se visualizar na Tabela 6 que o município que possui o maior gasto com insumos no semiárido pertence à Bahia, com um valor gasto de R\$ 958.695,00. No que se refere à média de valores gastos por município, o estado de Sergipe apresentou-se com o maior valor gasto, com uma média de R\$ 20.556,00 por município ultrapassando o estado da Bahia (R\$ 20.106,00), que possui municípios do semiárido que compõem o maior agropolo do Nordeste, e apresentou os valores máximos, R\$ 958.695,00. Ainda sobre os valores da Tabela 5, com exceção dos valores para o Maranhão, Pernambuco foi o estado que obteve um menor dispêndio médio entre seus municípios (R\$ 4.921,00) além de apresentar a maior variação (R\$ 29.797,32).

Tabela 6 – Estatística Descritiva das Despesas com Insumos por Estado no ano de 2017, em R\$ 1.000,00.

Variável	N.	Média	DP	Mín.	Máx.
AL	37	9.397	7.185,78	280	35.629
BA	253	20.106	67.300,64	1.399	958.695
CE	175	12.848	15.186,95	970	93.661
SE	28	20.556	18.155,15	1621	69.829
MA	1	4.720	NA	4.720	4.720

Tabela 6 – Estatística Descritiva das Despesas com Insumos por Estado no ano de 2017, em R\$ 1.000,00 (conclusão).

Variável	N.	Média	DP	Mín.	Máx.
SE	28	20.556	18.155,15	1621	69.829
MA	1	4.720	NA	4.720	4.720
PB	194	4.921	5.054,32	-699	27.587
PE	119	16.612	29.797,32	902	242.398
PI	139	5.216	8.873,55	211	92.800
RN	147	7.005	19.420,51	0	162.604

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1.5 Mão de Obra

A Tabela 7 aponta as informações de pessoas ocupadas no setor por município, conforme os seus estados. Todos os estados, exceto o Rio Grande do Norte, revelaram que em média seus municípios geram acima de 3.500 ocupações produtivas, referentes a assalariados ou trabalhadores que exercem atividades na produção de agricultura familiar. O estado do Ceará é o que mais utiliza mão de obra para o setor (6.283 pessoas com alguma ocupação no setor), depois da Bahia. Enquanto que, Pernambuco foi o estado que apresentou valores aproximados para sua média (5.724) e desvio padrão (5.327), sendo este o estado com maior dispersão entre valores.

Tabela 7 – Estatística Descritiva do Emprego de Mão de Obra por Estado no ano de 2017, em número de pessoal ocupado nos estabelecimentos agropecuários.

Variável	N.	Média	DP	Mín.	Máx.
AL	37	5.567	3.606,63	414	16.699
BA	253	6.714	5.109,81	670	36.826
CE	175	6.283	4.938,25	417	27.195
MA	1	7.555	NA	7.555	7.555
PB	194	2.066,80	1.610,05	0	8.988,00
PE	119	5.724	5.326,90	50	44.259
PI	139	3.566	2.363,74	484	13.263
RN	147	1.393	1.543,32	0	10.571

Tabela 7 – Estatística Descritiva do Emprego de Mão de Obra por Estado no ano de 2017, em número de pessoal ocupado nos estabelecimentos agropecuários (conclusão).

Variável	N.	Média	DP	Mín.	Máx.
SE	28	4.053	3.527,81	362	14.877

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1.6 Queimadas

Os resultados da Tabela 8 mostram os focos de queimadas ocorridos por mês dentro do semiárido nordestino no bioma Caatinga, através dos quais é possível visualizar valores relevantes para os estados do Piauí (3,27), da Bahia (2,59) e do Ceará (2,12). Tal fator pode influenciar na ecoeficiência desses estados, visto que as áreas de pastagens degradadas em hectares obtiveram resultados semelhantes, com exceção do estado de Pernambuco, que se destacou como o segundo estado com o maior volume de áreas degradadas em hectares.

Tabela 8 – Estatística Descritiva de Queimadas por Estado no ano de 2017, em média de ocorrências mensais.

Variável	N.	Média	DP	Mín.	Máx.
AL	37	0,14	0,23	0	1,17
BA	253	2,59	7,14	0	69,33
CE	175	2,12	2,37	0	15,42
MA	1	27,17	NA	27,17	27,17
PB	194	0,23	0,43	0	2,5
PE	119	0,52	0,96	0	7,33
PI	139	3,27	5,21	0	32,92
RN	147	0,32	0,7	0	4,75
SE	28	0,091	0,18	0	0,83

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1.7 Despesas com Agrotóxicos

A Tabela 9 aponta que a Bahia ocupa o ranking no valor gasto em reais com a compra de agrotóxicos, uma média de R\$2.032,00 gastos por município, algo que já era

esperado devido a este estado possuir o maior número de estabelecimentos agropecuários da região Nordeste. Os estados seguintes neste ranking, que alcançaram os maiores valores (médios) gastos com agrotóxicos por município, foram Pernambuco, com R\$702,40, e Piauí, com R\$ 641,10, que obtiveram também os valores máximos, após a Bahia. Enquanto que o estado da Paraíba obteve o menor valor médio gasto com as despesas de agrotóxicos entre todos os estados, apresentando o valor médio de R\$34,05 gasto entre seus municípios.

Tabela 9 – Estatística Descritiva das Despesas com Agrotóxicos por Estado no ano de 2017, em R\$ 1.000,00.

Variável	N.	Média	DP	Mín.	Máx.
AL	37	120,9	222,12	0	933
BA	253	2.032	13.917,97	0	161.395
CE	175	155,2	351,98	0	3.631,00
MA	1	11	NA	11	11
PB	194	34,05	70,87	0	875
PE	119	702,4	5158,17	0	56.052,00
PI	139	641,1	4.582,21	0	51.283,00
RN	147	296,6	1.587,30	0	16.512,00
SE	28	342,8	295,55	0	1.221,00

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1.8 Áreas Preservadas

Os resultados mostram que na Tabela 10, em valores médios, o Piauí obteve a melhor média com 23.154 hectares de terras preservadas entre os seus municípios, com exceção da Bahia, que apresentou a maior extensão para áreas preservadas, enquanto Alagoas apresentou-se com a menor média em números absolutos. Ao comparar os valores das médias de áreas plantadas com as médias das áreas preservadas, constata-se uma melhor denotação do uso das terras e sua preservação no estado de Alagoas, seguido por Sergipe, Pernambuco, Bahia e Ceará.

Tabela 10 – Estatística Descritiva de Áreas Preservadas por Estado no ano de 2017, em hectares.

<b>Variável</b>	<b>N.</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
<b>AL</b>	37	1.787	2.189,94	0	.9066
<b>BA</b>	253	24.726	37.346,93	0	332.725
<b>CE</b>	175	15.550	22.532,59	0	168.283
<b>MA</b>	1	6.377	NA	6.377	6.377
<b>PB</b>	194	7.570	9.044,88	0	55.182
<b>PE</b>	119	10.852,20	18.356,19	0	129.348,00
<b>PI</b>	139	23.154	26.825,00	402	140.001
<b>RN</b>	147	7.167	9.709,01	0	57.835
<b>SE</b>	28	4.128	5.462,67	53	25.259

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1.9 Receitas Agropecuárias

As Tabelas 11 e 12 mostram, respectivamente, as estatísticas descritivas do produto desejável – receita da agropecuária (em R\$ 1.000,00) – e do produto indesejável – emissões de gases de efeito estufa – por estado da região Nordeste, no ano de 2017.

Tabela 11 – Estatística Descritiva das Receitas Agropecuárias por Estado no ano de 2017, em R\$ 1.000,00.

<b>Variável</b>	<b>N.</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
<b>AL</b>	37	10.251	13.306,25	0	72.381
<b>BA</b>	253	24.929	80.495,89	0	1.025.368
<b>CE</b>	175	16.407	23.928,90	0	153.985
<b>MA</b>	1	5.299	NA	5.299	5.299
<b>PB</b>	194	4.828	5.394,55	0	30.465
<b>PE</b>	119	23.539	76.607,05	3.911	752.011
<b>PI</b>	139	5.607	19.175,58	0	221.135
<b>RN</b>	147	8.326	23.921,22	0	255.506
<b>SE</b>	28	23.568	20.942,21	0	72.978

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a Tabela 11, as maiores médias da receita agropecuária ocorreram nos estados da Bahia e Pernambuco, respectivamente, com R\$ 24,929 milhões e R\$ 23,539 milhões, tendo observado valor máximo da receita agropecuária municipal de R\$ 1 bilhão, observado na Bahia. O estado da Paraíba apresentou a menor média da renda agropecuária, no valor de R\$ 2,996 milhões. A média da receita agropecuária distribuiu-se entre estes extremos de valores com elevado desvio padrão em torno da média, observado em todos os estados.

#### 4.1.1.10 Emissões de Gases de Efeito Estufa

De acordo com a Tabela 12, a média das emissões de CO<sub>2</sub> da agropecuária nos municípios do bioma Caatinga foi de 377,14 MtCO<sub>2</sub>e, com desvio padrão de 413,47 MtCO<sub>2</sub>e. A média das emissões de GEE municipais do setor agropecuário mostrou uma amplitude menor, variando no intervalo de 108,51 e 640,32 MtCO<sub>2</sub>e. Os estados da Bahia e do Sergipe apresentaram as maiores médias, respectivamente, de 640,32 e 586,25 MtCO<sub>2</sub>e, enquanto as menores médias foram observadas no Rio Grande do Norte e no Piauí, com 108,51 e 260,62 MtCO<sub>2</sub>e.

Tabela 12 – Estatística Descritiva das Emissões de Gases de Efeito Estufa por Estado no ano de 2017, em MtCO<sub>2</sub>e.

<b>Variável</b>	<b>N.</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>Mín,</b>	<b>Máx,</b>
<b>AL</b>	37	404,68	234,18	58,01	1.079,61
<b>BA</b>	253	640,32	582,87	48,87	4.440,13
<b>CE</b>	175	429,191	387,01	6,711	2.320,70
<b>MA</b>	1	402	NA	402	402
<b>PB</b>	194	156,11	116,58	28,35	668,35
<b>PE</b>	119	436,35	391,26	40,28	2.304,97
<b>PI</b>	139	260,62	195,49	39,88	1.255,92
<b>RN</b>	147	108,51	175,52	17,26	1.223,18
<b>SE</b>	28	586,25	438,54	49,32	1.569,85

Fonte: Elaboração própria.

Deve-se destacar que o maior emissor de gases de efeito estufa na região Nordeste, naquele ano, foi o município de Juazeiro, localizado na Bahia. Também é importante ressaltar que, com exceção do estado da Bahia, não se observou correspondência direta entre os estados com maior valor da receita agropecuária e aqueles com maior emissão de gases de efeito estufa.

#### 4.1.1.11 Áreas de Pastagens Degradadas

Constata-se na Tabela 13, que assim como ocorreu com os demais insumos econômicos, o estado da Bahia também indicou ter o maior valor em hectares para as áreas degradadas (7.138 ha), o que já era esperado devido à sua grande extensão territorial utilizada para as produções agropecuárias no semiárido. Porém, a sua média obteve um valor quase 12 vezes maior que a Paraíba (614,7), que possui apenas 59 municípios a menos que a Bahia em quantidades de municípios pertencentes ao semiárido. O estado de Pernambuco também indicou um valor alto para a sua média com 2.245 hectares degradados por município.

Tabela 13 – Estatística Descritiva de Áreas de Pastagens Degradadas por Estado no ano de 2017, em hectares.

Variável	N.	Média	DP	Mín,	Máx,
AL	37	560,4	1.206,62	0	6.815,00
BA	253	7.138	8.107,25	0	53.075
CE	175	1.467,00	2.464,11	0	15.201,00
MA	1	141	NA	141	141
PB	194	614,7	1.961,89	0	20.785,00
PE	119	2245	3.704,26	0	20.137
PI	139	1.400	2.002,72	0	12.839
RN	147	408,3	924,48	0	5.084,00
SE	28	1.387	1.885,68	0	6.643

Fonte: Elaboração própria.

O estado da Bahia, por possuir uma grande territorialidade e sediar um importante agropolo do Nordeste, obteve o ranking para todos os valores máximos dos fatores de produção, com algumas exceções para as médias. Sergipe configurou-se como uma revelação para os fatores produtivos com valores em destaque. As variabilidades regionais foram expressas nos altos valores de desvio padrão encontrados durante todas as análises, o que revela as disparidades em termos econômicos e produtivos entre os municípios que pertencem à região semiárida nordestina.

## 4.2 Ecoeficiência dos Municípios

A Tabela 14 apresenta a estatística descritiva dos índices estimados de ecoeficiência dos municípios do bioma Caatinga, distribuídos por faixa e população. Da população de 1093 municípios, 238 (ou 21,8%) deles formaram a fronteira de ecoeficiência, servindo de *benchmark* para o cálculo das ecoeficiências dos demais municípios (DMUs).

Os índices estimados de ecoeficiência variaram no intervalo entre 0,114 e 1, e foram distribuídos em cinco faixas de ecoeficiência, como mostrado na Tabela 14, seguindo a mesma classificação de ecoeficiência<sup>1</sup> proposta por Araújo (2021). A média da ecoeficiência da população foi estimada em 0,718 (ou 71,8%), com desvio padrão de 0,216, demonstrando uma alta ecoeficiência dos municípios localizados no bioma Caatinga.

Tabela 14 – Descrição das faixas de ecoeficiências técnicas para os municípios do bioma Caatinga do semiárido nordestino em 2017.

Ecoeficiência	N.	Percentual	Média	DP	Mín.	Máx.	IE
Muito baixa	3	0,3%	0,150	0,042	0,114	0,196	$0 < IE \leq 0,20$
Baixa	77	7,0%	0,334	0,052	0,200	0,399	$0,20 < IE \leq 0,40$
Intermediária	286	26,2%	0,510	0,057	0,400	0,599	$0,40 < IE \leq 0,60$
Alta	312	28,5%	0,699	0,054	0,600	0,799	$0,60 < IE \leq 0,80$
Muito Alta	415	38,0%	0,950	0,068	0,802	1,000	$0,80 < IE \leq 1$
<i>Benchmarks</i>	238	21,8%	1,000	NA	1,000	1,000	$IE = 1$
<i>População</i>	1093	100,0%	0,718	0,216	0,114	1,000	

Fonte: Elaboração própria com base nas eficiências calculadas.

<sup>1</sup> As escalas de ecoeficiência são definidas como: ecoeficiência muito baixa (com média do índice de ecoeficiência abaixo de 0,20), ecoeficiência baixa (com média do índice de ecoeficiência entre 0,20 e 0,40), ecoeficiência intermediária (com média do índice de ecoeficiência entre 0,40 e 0,60), ecoeficiência alta (com média do índice de ecoeficiência entre 0,60 e 0,80), e ecoeficiência muito alta (com média do índice de ecoeficiência maiores de 0,80 até o valor 1).

A faixa de ecoeficiência mais elevada, ‘Muito Alta’, concentrou o maior número de municípios (415 ou 38%), dos quais 21,8% dos municípios nessa faixa serviram de benchmark. A faixa de ecoeficiência ‘Muito Baixa’ teve o menor número de municípios (3 ou 0,3%). Mais da metade da população está localizada nas faixas “Intermediária” ou “Alta”, compreendendo 54,7% da população ou 598 municípios.

A Figura 1 mostra a distribuição dos índices de ecoeficiência dos municípios. Com base neste histograma, observa-se que a maioria dos municípios está distribuída no intervalo de ecoeficiência entre 0,5 e 0,9. Observando os histogramas das faixas, pode-se concluir que as médias das faixas ‘Muito Baixa’ e ‘Muito Alta’ refletiram pesadamente os escores localizados no limite superior do intervalo da faixa. Vale destacar que na faixa ‘Muito Alta’, a média de ecoeficiência nesta faixa é 0,950, que se mostra enviesada para cima devido aos escores unitários dos municípios *benchmarks*.

Figura 1 – Distribuição dos escores por faixa de ecoeficiência dos municípios do bioma Caatinga. Notação: (a) Muito Baixa:  $0 < IE \leq 0,20$ ; (b) Baixa:  $0,20 < IE \leq 0,40$ ; (c) Intermediária:  $0,40 < IE \leq 0,60$ ; Alta:  $0,60 < IE \leq 0,80$ ; e Muito Alta:  $0,80 < IE \leq 1$ .

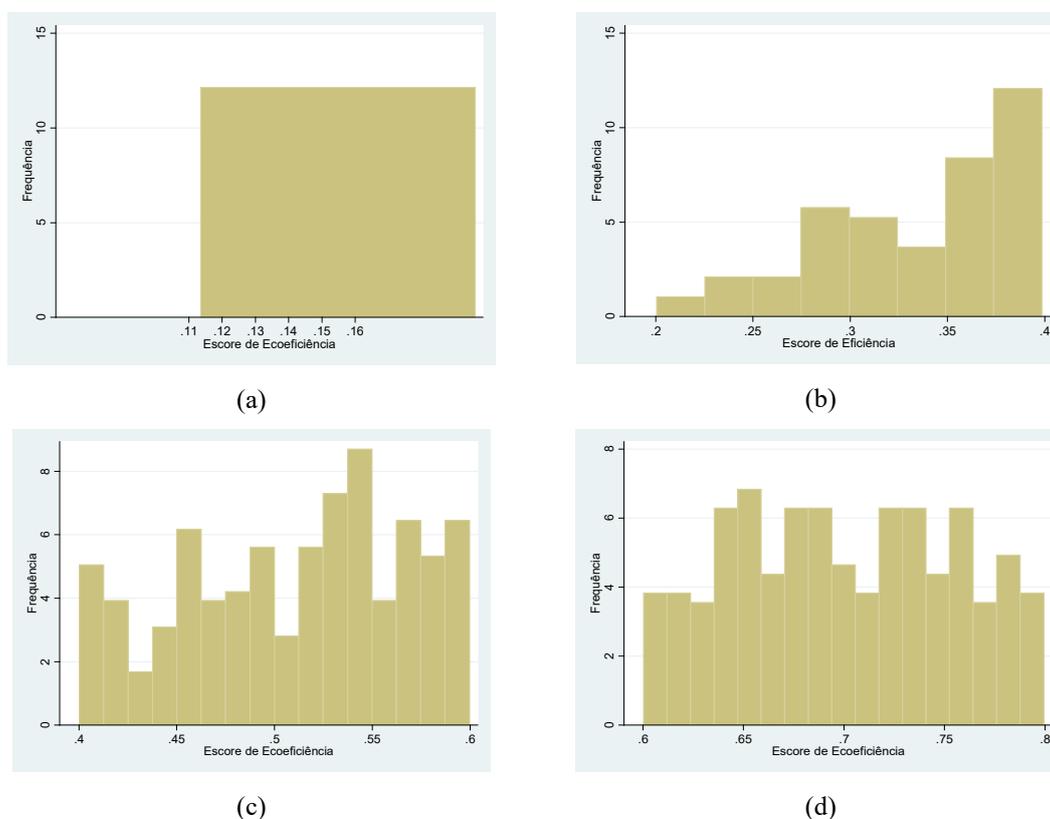
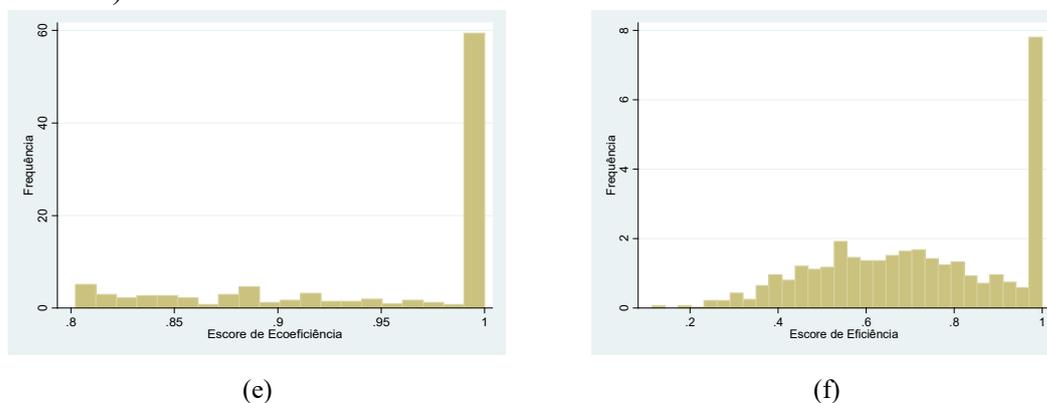


Figura 1 – Distribuição dos escores por faixa de ecoeficiência dos municípios do bioma Caatinga. Notação: (a) Muito Baixa:  $0 < IE \leq 0,20$ ; (b) Baixa:  $0,20 < IE \leq 0,40$ ; (c). Intermediária:  $0,40 < IE \leq 0,60$ ; Alta:  $0,60 < IE \leq 0,80$ ; e Muito Alta:  $0,80 < IE \leq 1$  (conclusão).



Fonte: Elaboração própria.

Os municípios *benchmarks*, ou seja, aqueles que se encontram na fronteira de ecoeficiência, representam 21,8% da população, correspondendo a 238 municípios, distribuídos entre os estados analisados. O ranking de ecoeficiência dos municípios é mostrado na Tabela 24 do Anexo D.

A Tabela 15 mostra a distribuição dos *benchmarks* entre os estados do bioma Caatinga. O estado que mais contribuiu para a formação da fronteira de ecoeficiência foi Bahia (21%), seguido dos estados do Ceará (17,2%), Rio Grande do Norte (15,5%), Paraíba (14,6%), Pernambuco (12,6%) e Piauí (11,7%). Os estados de Sergipe, Alagoas e Maranhão apresentaram um número reduzido de municípios ou não participaram da fronteira de ecoeficiência.

Tabela 15 – Distribuição dos *benchmarks* entre os estados do bioma Caatinga.

Estados	Nº de Municípios	Percentual
PI	28	11,7%
PB	35	14,6%
RN	37	15,5%
CE	41	17,2%
BA	52	21,8%
PE	30	12,6%
SE	6	2,5%
AL	9	3,8%

Tabela 15 – Distribuição dos *benchmarks* entre os estados do bioma Caatinga (conclusão).

<b>Estados</b>	<b>Nº de Municípios</b>	<b>Percentual</b>
<b>MA</b>	0	0,0%
<b>Total</b>	239	100,0%

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que não existe uma categoria de ecoeficiência que exerça preponderância em relação às demais, o que demonstra um resultado heterogêneo para as ecoeficiências em seus municípios.

De acordo com os dados divulgados pelo IBGE em 2019, Alagoas e Sergipe participam do conjunto semiárido com, respectivamente, 37% e 36% do total de seus municípios, caracterizando-se como os estados que menos apresentaram áreas dentro da classificação dos mais ecoeficientes. Diante dessa conjectura, fica evidente que, apesar de poucos municípios pertencerem ao semiárido e ao setor agropecuário nesses estados, os mesmos não utilizam seus insumos de forma eficaz, o que delimita uma falha na conciliação para que aconteça um equilíbrio econômico e ambiental. Já o Ceará, que apresenta 95% do seu território inserido na região do semiárido nordestino (IBGE, 2019), apresentou-se como o segundo estado mais ecoeficiente da análise.

A Tabela 23 do Anexo C apresenta a lista de municípios com ecoeficiência ‘Muito Baixa’ ou ‘Baixa’, distribuídos por estado da federação, e a Tabela 16 destaca os vinte municípios com os menores índices de ecoeficiência, seguida da unidade da federação e do valor do índice. Com exceção de Alagoas e Maranhão, os estados tiveram pelo menos um município entre os vinte de menor desempenho econômico e ecológico.

Entre os vinte municípios listados, o estado da Bahia apresentou oito municípios, dos quais sete deles são integrantes da mesorregião chamada de Centro Norte Baiano, exceto pela cidade de Abaré que se localiza na mesorregião do Vale São Francisco. O Rio Grande do Norte contou com seis municípios, enquanto o estado do Ceará teve apenas um único município, Fortim, que fica localizado no litoral leste do estado.

Todos os municípios citados na Tabela 16 têm em comum o fato de serem municípios pequenos, em termos populacionais ou territoriais, e não possuem áreas expressivas cobertas por matas, florestas nativas (ou preservadas) e agroflorestas plantadas, característica decorrente do clima e da vegetação nativa dessas localidades. Tal particularidade pode ser uma evidência de que municípios cuja área de cobertura vegetal

é praticamente inexistente têm baixa capacidade de resiliência ambiental, ou seja, baixa capacidade de mitigar os impactos ambientais ocasionados nessas regiões.

Tabela 16 – Ranking dos Municípios com os 20 Menores Índices de Ecoeficiência.

Ranking	DMU	Município	UF	Nível	IE
1	2925600	Presidente Dutra	BA	Muito Baixo	0,114
2	2805000	Pedra Mole	SE	Muito Baixo	0,141
3	2807303	Telha	SE	Muito Baixo	0,196
4	2413300	Serra de São Bento	RN	Baixo	0,201
5	2407203	Macau	RN	Baixo	0,207
6	2916906	Itiruçu	BA	Baixo	0,236
7	2914208	Irajuba	BA	Baixo	0,244
8	2414001	Tangará	RN	Baixo	0,245
9	2604908	Cumaru	PE	Baixo	0,245
10	2304459	Fortim	CE	Baixo	0,257
11	2413607	Severiano Melo	RN	Baixo	0,258
12	2919058	Lajedo do Tabocal	BA	Baixo	0,259
13	2901155	América Dourada	BA	Baixo	0,263
14	2913804	Ipecaetá	BA	Baixo	0,275
15	2204204	Francisco Santos	PI	Baixo	0,280
16	2412708	São Pedro	RN	Baixo	0,281
17	2924306	Piatã	BA	Baixo	0,282
18	2510501	Olivedos	PB	Baixo	0,284
19	2409332	Santa Maria	RN	Baixo	0,285
20	2900207	Abaré	BA	Baixo	0,292

Fonte: Elaboração própria com base nas eficiências calculadas.

### 4.3 Eficiência dos Estados

A Tabela 17 apresenta a estatística descritiva dos índices de ecoeficiência por estado da federação. A participação dos estados no total de municípios localizados no bioma Caatinga variou consideravelmente, sendo a Bahia o estado que possui maior número de municípios nesse bioma (253 ou 23,1%), seguido da Paraíba (194 ou 17,7%),

do Ceará (175 ou 16%), do Rio Grande do Norte (147 ou 13,4%) e do Piauí (139 ou 12,7%), conjuntamente concentrando 82,9% dos municípios.

Considerando a média dos índices de ecoeficiência por estado, todos os estados ficam na faixa de ‘Alta’ ecoeficiência, isto é, no intervalo dentre 0,6 e 0,8. Pode-se observar que o desvio padrão do índice de ecoeficiência dos estados manteve-se em torno de 0,2, demonstrando baixa variabilidade do índice no estado.

Tabela 17 – Descrição das médias de ecoeficiências técnicas para os Estados Nordestinos pertencentes ao bioma Caatinga do semiárido nordestino.

<b>Estados</b>	<b>Nº de Municípios</b>	<b>Percentual</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>Rank de IE</b>
<b>PI</b>	139	12,7%	0,777	0,177	0,28	1	1º
<b>AL</b>	37	3,4%	0,738	0,211	0,333	1	2º
<b>PB</b>	194	17,7%	0,737	0,197	0,284	1	3º
<b>MA</b>	1	0,1%	0,733	NA	0,733	0,733	4º
<b>CE</b>	175	16,0%	0,720	0,212	0,257	1	5º
<b>SE</b>	28	2,6%	0,699	0,252	0,141	1	6º
<b>PE</b>	119	10,9%	0,698	0,229	0,245	1	7º
<b>BA</b>	253	23,1%	0,695	0,221	0,114	1	8º
<b>RN</b>	147	13,4%	0,688	0,243	0,201	1	9º
<b>Total</b>	1093	100%	0,718	0,216	0,114	1,000	

Fonte: Elaboração própria com base nas eficiências calculadas.

Nota-se que o ranking de ecoeficiência média dos estados mostrou a seguinte ordem de desempenho, em ordem crescente das médias de ecoeficiência: 1º - Piauí (0,777); 2º - Alagoas (0,738); 3º - Paraíba (0,737); 4º - Maranhão (0,733); 5º - Ceará (0,720); 6º - Sergipe (0,699); 7º - Pernambuco (0,698); 8º - Bahia (0,695); 9º Rio Grande do Norte (0,688).

Deve-se destacar que o Maranhão participou da análise com os dados de um único município, Araiões, portanto a média de ecoeficiência do Maranhão é o próprio índice de ecoeficiência do município de Araiões, o que não representa o contexto de ecoeficiência do referido estado.

A Tabela 18 mostra a distribuição dos municípios por faixa de ecoeficiência em cada estado – Muito baixo, Baixo, Intermediário, Alto e Muito Alto – e também o número de municípios *benchmark* por estado.

Tabela 18 - Descrição da quantidade de municípios e suas proporções dentro das categorias de ecoeficiência para estado.

<b>Estados</b>	<b>Nº de Municípios</b>	<b>Muito Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Intermediário</b>	<b>Alto</b>	<b>Muito Alto</b>	<b>Benchmark</b>
<b>PI</b>	139	0 (0%)	3 (2,2%)	21 (15,1%)	51 (36,7%)	64 (46%)	28 (21,1%)
<b>PB</b>	194	0 (0%)	7 (3,6%)	46 (23,7%)	58 (29,9%)	83 (42,8%)	35 (18%)
<b>RN</b>	147	0 (0%)	15 (10,2%)	53 (36,1%)	26 (17,7%)	53 (36,1%)	37 (25,2%)
<b>CE</b>	175	0 (0%)	13 (7,4%)	43 (24,6%)	54 (30,9%)	65 (37,1%)	41 (23,4%)
<b>BA</b>	253	1 (0,4%)	21 (8,3%)	74 (29,2%)	72 (28,5%)	85 (33,6%)	52 (20,6%)
<b>PE</b>	119	0 (0%)	14 (11,8%)	33 (27,7%)	33 (27,7%)	39 (32,8%)	30 (25,2%)
<b>SE</b>	28	2 (7,1%)	2 (7,1%)	5 (17,9%)	9 (32,1%)	10 (35,7%)	6 (21,4%)
<b>AL</b>	37	0 (0%)	2 (5,4%)	11 (29,7%)	8 (21,6%)	16 (43,2%)	9 (24,3%)
<b>MA</b>	1	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)	0 (0%)
<b>Total</b>	1093	3 (0,3%)	77 (7,0%)	286 (26,2%)	312 (28,6%)	415 (38%)	238 (21,8%)

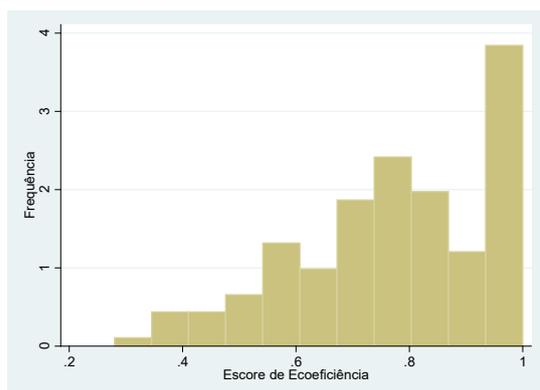
Fonte: Elaboração própria com base nas eficiências calculadas.

De acordo com a Tabela 18, com exceção do estado do Maranhão, os demais apresentaram maior frequência dos municípios na faixa de ecoeficiência ‘Muito Alta’, acima de 30% dos municípios de cada estado. O número de municípios *benchmark*, ou seja, na fronteira de ecoeficiência, também se mostrou relativamente alto, acima de 18%, como observado na Paraíba. O maior número de municípios na fronteira de ecoeficiência

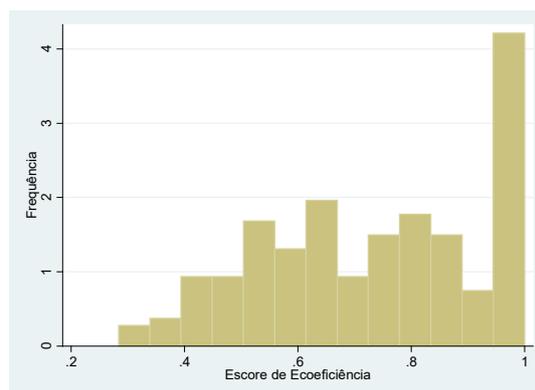
foi o estado da Bahia, com 52 municípios (ou 20,6%), para os quais o índice de ecoeficiência é 1, ou seja, ecoeficiente.

A distribuição dos índices de ecoeficiência é melhor visualizado por meio dos histogramas deste índice por estado, como apresentado na Figura 2.

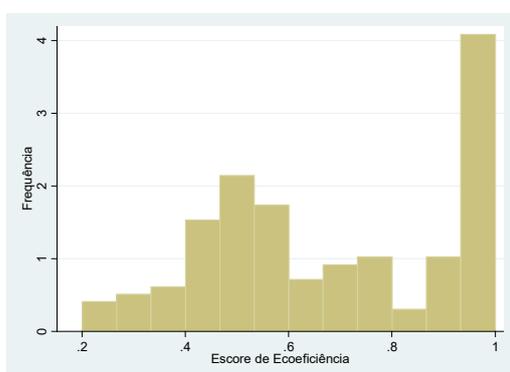
Figura 2 – Distribuição dos escores por faixa de ecoeficiência dos municípios do bioma Caatinga. Notação: (a) 1º - Piauí; (b) 2º - Paraíba; (c) 3º - Rio Grande do Norte; (d) 4º - Maranhão; (e) 5º - Ceará; (f) 6º - Sergipe; (g) 7º - Pernambuco; (h) 8º - Bahia; (i) 9º - Rio Grande do Norte.



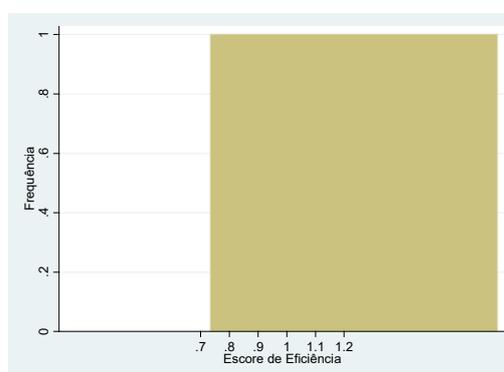
(a) 1º - Piauí



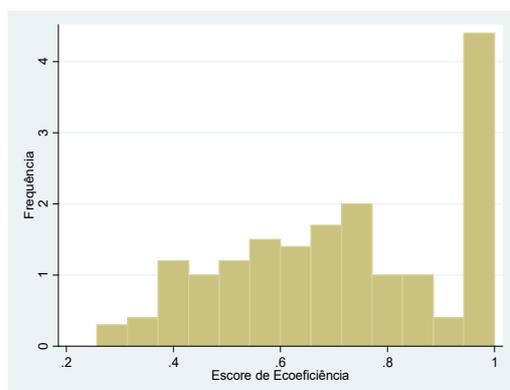
(b) 2º - Paraíba



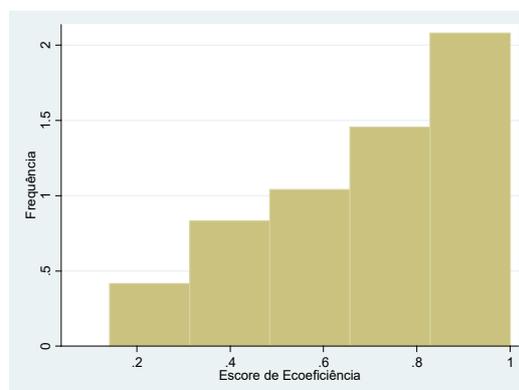
(c) 3º - Rio Grande do Norte



(d) 4º - Maranhão

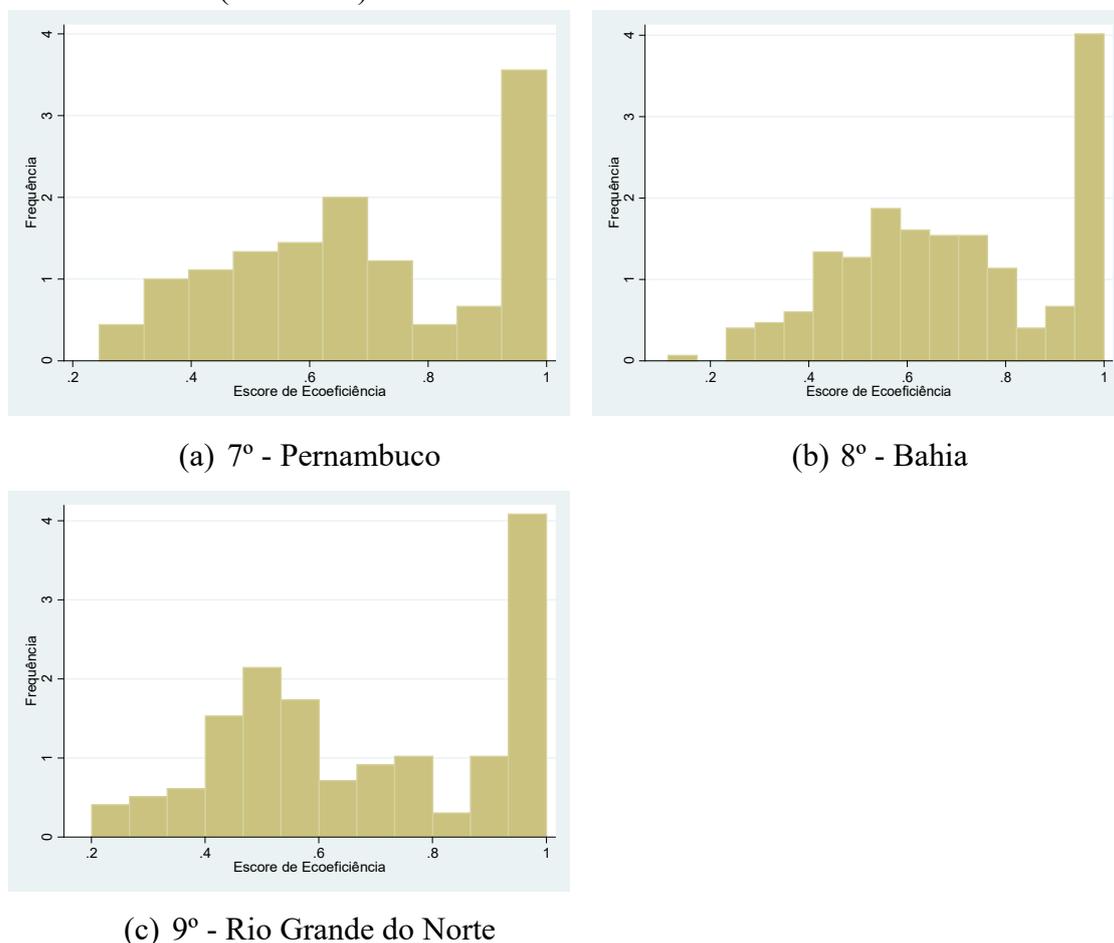


(e) 5º - Ceará



(f) 6º - Sergipe

Figura 2 – Distribuição dos escores por faixa de ecoeficiência dos municípios do bioma Caatinga. Notação: (a) 1º - Piauí; (b) 2º - Paraíba; (c) 3º - Rio Grande do Norte; (d) 4º - Maranhão; (e) 5º - Ceará; (f) 6º - Sergipe; (g) 7º - Pernambuco; (h) 8º - Bahia; (i) 9º - Rio Grande do Norte (conclusão).



Fonte: Elaboração própria.

As distribuições de frequência dos índices de ecoeficiência dos estados analisados diferenciam-se consideravelmente entre si. Com exceção do Maranhão e do Sergipe, os índices de ecoeficiência dos estados apresentaram distribuições normais irregulares, enviesadas para a direita ou para a esquerda, mas sempre com a média enviesada para cima em virtude dos *benchmarks*. Nos estados do Maranhão e do Sergipe, as distribuições dos índices foram do tipo uniforme e linear com declividade positiva.

#### 4.4 Análise dos Índices de Ecoeficiência

A Tabela 19 mostra os modelos estimados para avaliar a significância e a direção dos efeitos das variáveis de produção (insumos e produtos) sobre o índice de ecoeficiência através da regressão Tobit, enquanto a Tabela 20 aponta o seu

enquadramento nas faixas de desempenho através do modelo Logit, como é apresentado a seguir:

Tabela 19 – Modelo de regressão Tobit dos índices de ecoeficiência do bioma Caatinga.

Variáveis	Modelo Tobit			
	Coef.	Std. Err.	t	P >  t
<i>AREAPLANT</i>	-7,88E-06	1.66e-06	-4,76	0
<i>AREAPAST</i>	1,92E-06	1,85E-06	1,04	0,299
<i>CAPITAL</i>	-0,002582	7,9E-05	-3,26	0,001
<i>MDO</i>	-0,000187	2,52E-06	-7,41	0
<i>DINSUMO</i>	-4,72E-06	1,29E-06	-3,67	0
<i>DAGTX</i>	9,46E-07	5,60E-06	0,17	0,866
<i>QUEIMA</i>	-0,0037453	0,00194	-1,93	0,054
<i>GEE</i>	0,0006439	4,6E-05	13,95	0
<i>AREADEG</i>	-1,70E-06	2,43E-06	-0,7	0,485
<i>AREAPRES</i>	0,000013	1,92E-06	6,75	0
<i>RECEITA</i>	5,07E-06	9,54E-06	5,31	0
<i>CONST</i>	0,678877	0,01075	63,16	0
<i>/ sigma</i>	0,2151377	0,00545		
<i>N.</i>	1093			
<i>Prob&gt;chi2</i>	0			
<i>LR chi2 (11)</i>	444,18			
<i>Pseudo R2</i>	0,6669			

Fonte: Elaboração própria.

Nota: *AREAPLANT* = Área utilizada com lavouras; *AREAPAST* = Área utilizada com pastagens; *CAPITAL* = Capital; *MDO* = Mão de obra; *DINSUMO* = Despesas com insumos; *QUEIMA* = Queimadas; *GEE* = Emissão de gases de efeito estufa; *AREADEG* = Área de pastagens degradadas; *DAGTX* = Despesa com o uso de agrotóxicos; *AREAPRES* = Área preservada; *RECEITA* = Receita agropecuária.

O modelo de regressão Tobit foi considerado satisfatório para explicar a variabilidade dos índices de ecoeficiência, visto que o  $R^2$  foi 66,6% e, segundo o teste Chi-quadrado, as variáveis explicativas conjuntamente foram significativas, ao nível de 1% de significância.

Com exceção das variáveis ‘área de pastagens’, ‘despesa com uso de agrotóxicos’, ‘queimada’ e ‘área degradada’, todas as outras variáveis mostraram-se significativas pelo menos ao nível de 5% de significância. Para todas as variáveis, a magnitude dos efeitos marginais foi bastante pequena.

Dentre as variáveis significativas, ‘área plantada’, ‘capital’, ‘mão de obra’, ‘despesa com insumos’ e ‘área degradada’ apresentaram coeficientes negativos, indicando que o aumento dessas variáveis faz o índice de ecoeficiência declinar. Por sua

vez, o aumento nos ‘gases de efeito estufa’, por ter coeficiente positivo, faz o índice de ecoeficiência aumentar, o que parece contraditório já que o GEE é um produto indesejável.

Tabela 20 – Modelo de regressão Logit dos índices de ecoeficiência do bioma Caatinga.

Variáveis	Modelos Logit			
	LF12:	LF3:	LF4:	LF5:
	0 < IE ≤ 0,4	0,4 < IE ≤ 0,6	0,6 < IE ≤ 0,8	0,8 < IE ≤ 1
<i>AREAPLANT</i>	0,0003***	0,0001***	6,21E-07	-0,0001***
<i>AREAPAST</i>	-0,0002***	-0,0001	1,42E-06	0,0001
<i>CAPITAL</i>	0,0019	0,0008	-0,0005	-0,0044***
<i>MDO</i>	0,0002***	0,0001***	0,0001**	-0,0002***
<i>DINSUMO</i>	0,0002***	0,0001**	-4,44E-06	-0,0001**
<i>DAGTX</i>	0,0001	-0,0001	-9,23E-06	0,0001
<i>QUEIMA</i>	-0,0624	-0,0171	0,0288	-0,0592*
<i>GEE</i>	-0,0154***	-0,0051***	-0,0002	0,0056***
<i>AREADEG</i>	-0,0001	-0,0001	8,10E-06	-3,19E-08
<i>AREAPRES</i>	-0,0006***	-0,0001***	-1,65E+00	0,0001***
<i>RECEITA</i>	-0,0002***	-0,0001**	-2,59E-06	0,0001***
<i>CONST</i>	-1,2326***	-0,4727***	-1,0071***	-0,8464***
<i>N.</i>	1093	1093	1093	1093
<i>Prob&gt;chi2</i>	0,0001	0,0001	0,3189	0,0001
<i>R-quadrado</i>	-	-	-	-
<i>Pseudo R2</i>	0,3828	0,1445	0,0097	0,1886

Fonte: Elaboração própria.

Nota: (\*) nível de significância de 10%; (\*\*) nível de significância de 5%; e (\*\*\*) nível de significância de 1%. *AREAPLANT* = Área utilizada com lavouras; *AREAPAST* = Área utilizada com pastagens; *CAPITAL* = Capital; *MDO* = Mão de obra; *DINSUMO* = Despesas com insumos; *QUEIMA* = Queimadas; *GEE* = Emissão de gases de efeito estufa; *AREADEG* = Área de pastagens degradadas; *DAGTX* = Despesa com o uso de agrotóxicos; *AREAPRES* = Área preservada; *RECEITA* = Receita agropecuária.

Os modelos logit estimados foram: LF12, modelo logit para as faixas ‘muito baixa’ ou ‘baixa’ de ecoeficiência; LF3, modelo logit para a faixa ‘intermediária’; LF4, modelo logit para a faixa ‘alta’; e LF5, modelo logit para a faixa ‘muito alta’. Com exceção do modelo LF4, os demais se mostraram significantes quanto ao poder de explicar a participação nas faixas com base nas variáveis independentes consideradas.

Deve-se destacar que o número de coeficientes significantes variou entre os modelos, de modo que uma variável que se mostrou significativa para a participação do município em uma faixa pode não ter se mostrado significativa em outra. Apenas a variável ‘mão de obra’ foi significativa nos quatro modelos logit. Já ‘área plantada’, ‘despesa com insumo’, ‘gases de efeito estufa’, ‘área preservada’ e ‘receita agropecuária’

foram significativas nos modelos LF12, LF3 e LF5. Devido ao baixo poder explicativo do modelo LF4, apenas ‘mão de obra’ foi significativa.

Vale destacar que algumas variáveis foram significantes em um modelo específico, como foi o caso de ‘área de pastagem’, significativa apenas no LF12, e ‘queimada’, significativa apenas no modelo LF5.

Sobre a direção do efeito marginal, percebe-se que variou entre os modelos. Por exemplo, ‘área plantada’ obteve sinal positivo em LF12 e LF3, e sinal negativo em LF5. Comportamento similar foi observado para a variável ‘mão de obra’ e ‘despesa com insumo’. Já as variáveis ‘gases de efeito estufa’, ‘área preservada’ e ‘receita agropecuária’ apresentaram sinal negativo nos modelos LF12 e LF3, e sinal positivo no LF5.

Dada a complexidade das relações de produção entre insumos e produtos, própria da vastidão da área e da heterogeneidade da população características dos municípios, torna-se difícil encontrar padrões e tendências para justificar a direção dos efeitos marginais. Apesar disso, pode-se afirmar que a maioria das variáveis foi significativa em explicar os índices de ecoeficiência dos municípios no bioma Caatinga e os enquadramentos dos mesmos nas faixas de ecoeficiência. Dessa forma, pode-se assegurar certa confiabilidade nos índices de ecoeficiência estimados neste estudo.

As estimativas de ecoeficiência dos municípios da Caatinga, obtidos neste trabalho, divergiram marcantemente daqueles obtidos em outros biomas, tais como Silva (2021) e Araújo *et al.* (2021).

Silva (2021), ao estimar a ecoeficiência da agropecuária nos municípios da Amazônia por meio da DEA-DDF (função distância direcional) e da SFA (função distância hiperbólica), concluiu que apenas 13% dos municípios analisados foram de fato ecoeficientes e que a maioria das unidades produtivas apresentaram um desempenho econômico e ecológico de moderado a baixo. Cita ainda que a variável de maior impacto na ecoeficiência agropecuária em questão foi o impacto na biodiversidade e as despesas com insumos produtivos.

Araújo *et al.* (2021), analisando a ecoeficiência para a região Centro-Oeste brasileira por meio do método DEA-VRS, encontraram valores de ecoeficiência média de 0,45% para o ano de 2014 e 0,48% para o período de 2016, sendo a variável de área desmatada a principal influenciadora dos resultados de ecoineficiência.

Ressalta-se que as diferenças entre as medidas de ecoeficiência da agropecuária nos biomas e nas regiões brasileiras são esperadas, já que os fatores determinantes são diversos, tais como os níveis de atuação dos recursos tecnológicos, as

condições edafoclimáticas e os aspectos socioeconômicos que caracterizam os contextos nos quais está inserido o bioma.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal objetivo calcular os índices de ecoeficiência para os 1093 municípios do bioma Caatinga pertencentes ao semiárido nordestino. Do ponto de vista científico, a principal contribuição deste estudo, quando comparado aos demais, foi se propor a estudar a ecoeficiência agropecuária para uma nova delimitação geográfica: o bioma Caatinga inserido no semiárido nordestino.

Para cumprir o objetivo descrito no início desta pesquisa, foi utilizada uma metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA) e a aplicação de duas regressões, Tobit e Logit, a fim de averiguar o impacto das variáveis escolhidas nos índices de ecoeficiências obtidos. Para a realização do estudo, houve a incorporação de três variáveis ambientais negativas: as queimadas, as emissões de gases de efeito estufa e as áreas degradadas.

No que diz respeito à ecoeficiência dos municípios, 238 (ou 21,8%) deles formaram a fronteira de ecoeficiência, servindo de *benchmark*. A média do índice de ecoeficiência da população foi estimada em 0,718 (ou 71,8%), com desvio padrão de 0,216, demonstrando uma alta ecoeficiência dos municípios localizados no bioma Caatinga. Mais da metade da população está localizada nas faixas “Intermediária” ou “Alta”, compreendendo 54,7% da população ou 598 municípios, e apenas 3 municípios obtiveram seus índices de ecoeficiência abaixo dos 20%. Quanto à ecoeficiência dos estados, o Piauí obteve a melhor média (0,777), e, dentre os demais, o Rio Grande do Norte obteve a menor média do índice de ecoeficiência (0,688) e, juntamente com Pernambuco, foi o estado que apresentou a maior porcentagem de municípios considerados *benchmarks* (25,2%).

No geral, os resultados obtidos afirmaram a hipótese norteadora deste trabalho, em que (em média) os municípios do semiárido nordestino no bioma Caatinga, onde predomina as práticas rudimentares da agricultura familiar, possuem um índice de ecoeficiência ‘satisfatório’, o que significa que tais municípios que realizam esta atividade na região estão indo pelo caminho correto da sustentabilidade, ainda que de maneira incipiente.

Dentre as limitações encontradas na realização deste estudo, configuram-se as omissões de informações que compusessem os dados para alguns municípios durante a seleção das variáveis e a indisponibilidade de outros dados estatísticos e confiáveis que

trouxessem novas informações ambientais capazes de gerar um impacto mais conciso nos resultados obtidos.

Espera-se que o presente trabalho sirva de substrato para estudos posteriores fazendo uso de outros métodos que sejam capazes de avaliar as influências de variáveis exógenas aliadas à produção. Para futuras pesquisas nesta área, sugere-se incorporar informações contidas no Censo de 2006, a fim de analisar a evolução da ecoeficiência do Nordeste nas últimas décadas, além da inclusão de outras variáveis não investigadas neste estudo.

Estes resultados são úteis para os formuladores de políticas públicas e gestores ambientais fazerem inferências a respeito de como os municípios integrantes do semiárido nordestino estão utilizando seus insumos no setor da agropecuária, podendo, dessa forma, afetar a sustentabilidade ambiental.

Diante dessa análise, faz-se necessário um novo olhar dos formuladores de políticas ambientais para o bioma Caatinga em prol da sustentabilidade, para que esses municípios contribuam positivamente para o trabalho de conservação do planeta. Desse modo, estarão degradando menos o meio ambiente, mantendo seus ganhos econômicos e garantindo o avanço da produção agropecuária, além de estarem colaborando para a mitigação das mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, P. A. *et al.* Ecoeficiência e preço sombra das emissões de gases de efeito estufa na suinocultura brasileira. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Paraná, v. 12, n. 2, p. 377-408, 2019.
- ALMEIDA, M.; REBELATTO, D. Sistematização das técnicas para avaliar a eficiência: variáveis que influenciam a tomada de decisão estratégica. SEGet, SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2, 2005, Rezende RJ. **Anais...** Rezende RJ, Associação Educacional Dom Bosco (AEDB), 2005. p. 26-28.
- ARAÚJO, R. V. de *et al.* Eco-efficiency measurement as an approach to improve the sustainable development of municipalities: A case study in the Midwest of Brazil. **Environmental Development**, Amsterdam, v. 39, p. 100652, 2021. Disponível em : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221146452100049X> . Acesso em 03 maio 2022.
- ARTICULAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ASA). 2019. Disponível em : <http://www.asabrasil.org.br>. Acesso em: 28 jan. 2022.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, Catonsville, v. 30, n. 9, p.1078-1092, 1984.
- BARBOSA, F. C.; FUCHIGAM, H. Y. **Análise Envoltória de Dados: Teoria e Aplicações práticas**. Itumbiara: Ulbra, 2018. 109 p. Disponível em: <https://conhecimentolivres.org/wp-content/uploads/2019/03/Livro-DEA1.pdf> . Acesso em: 15 mar. 2021.
- BATTESE, G. E. Frontier production functions and technical efficiency: a survey of empirical applications in agricultural economics. **Agricultural Economics**, Hoboken, v. 7, n. 1, p. 185-208, 1992.
- BOZOGLU, M.; CEYHAN, V.; CINEMRE, H. A.; DEMIRYUREK, K; KILIÇ, O. Evaluation of different trout farming systems and some policy issues in the Black Sea region, Turkey. **Journal of Applied Sciences**, Dubai, v. 6, n. 14, p. 2882-2888, 2006.
- BRUNDTLAND, G.H. *et al.* United Nations. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. New York: Oxford University Press, 1987.
- CAIADO, R. G. G. *et al.* Measuring the Eco-efficiency of Brazilian Energy Companies using DEA and Directional Distance Function. **IEEE Latin America Transactions**, New York, v. 18, n. 11, p. 1844-1852, 2020.

CASADO, Frank Leonardo. Análise envoltória de dados: conceitos, metodologia e estudo da arte na educação superior. **Revista Sociais e Humanas**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 59-71, 2007.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, Netherlands, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

COELLI, T. Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement. **Australian Journal of Agricultural Economics**, Nova Jersey, v. 39, n. 3, p.219-245, 1998.

COMIN, D. Total factor productivity. *In*: Durlauf, S. N., Blume, L. E. (eds) **Economic Growth**. The New Palgrave Economics Collection. London: Palgrave Macmillan, 2010. Disponível em: [https://doi.org/10.1057/9780230280823\\_32](https://doi.org/10.1057/9780230280823_32) . Acesso em: 02 mar. 2021.

EMROUZNEJAD, Ali; YANG, Guo-liang. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. **Socio-economic planning sciences**, Holanda, v. 61, p. 4-8, 2018.

ERKKO, S.; MELANEN, M.; MICKWITZ, P. Eco-efficiency in the Finnish EMAS reports - A buzz word? **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 13, n. 8, p. 799–813, 2005.

FÄRE, Rolf et al. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. **The American economic review**, Pittsburgh, p. 66-83, 1994.

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

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistic Society**, Series A (General), Hoboken, v. 120, p. 253-290, 1957.

FREEMAN, M. A.; HAVEMAN, R. H.; KNEESE, A. V. **The Economics of Environmental Policy**. New York: John Wiley & Sons, 1973.

GANCONE, Agita *et al.* Evaluation of agriculture eco-efficiency in Latvia. **Energy Procedia**, Amsterdam, v. 128, p. 309-315, 2017.

GILLEN, David; LALL, Ashish. Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis. **Transportation Research**

**Part E: Logistics and Transportation Review**, Amsterdam, v. 33, n. 4, p. 261-273, 1997.

GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. **Omega**, Amsterdam, v. 17, n. 3, p. 237-250, 1989.

GOMES, E. G.; MANGABEIRA, J. A. D. C.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. 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. 04, p. 607-631, 2005.

GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; BIONDI NETO, L. Avaliação de Eficiência por Análise de Envoltória de Dados: Conceitos, Aplicações a Agricultura e Integração com Sistemas de Informação Geográfica. **Embrapa Territorial - Documentos (INFOTECA-E)**, 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/17113/1/d28envoltdadosvf.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2021.

GREENE, William H. **Econometric analysis**. India: Pearson Education, 2003.

GREENE, William H. **Econometric analysis**. 7. ed. Boston: Prentice Hall, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (IBGE). **Censo agropecuário 2017: Resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro\\_2017\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf). Acesso em: 15 dez. 2020.

KOEIJER, T. J. de *et al.* Measuring agricultural sustainability in terms of efficiency: the case of Dutch sugar beet growers. **Journal of environmental management**, Oxford, v. 66, n. 1, p. 9-17, 2002.

KYDLAND, F. E.; PRESCOTT, E. C. Time to build and aggregate fluctuations. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, Hoboken, v. 50, n. 6, p. 1345-1370, 1982. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1913386>. Acesso em: 16 mai. 2021.

LINS, Marcos Estellita *et al.* O uso da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação de hospitais universitários brasileiros. **Ciência & saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 985-998, 2007.

LINS, Marcos Pereira Estellita; MEZA, Lúcia Angulo. **Análise envoltória de dados e perspectivas de integração no ambiente de apoio à decisão**. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2000.

LOPES, B. A. G. **Ecoeficiência na agropecuária: uma aplicação de Análise Envoltória de Dados - DEA nos municípios brasileiros da região norte**. 2014, 183 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

MEDEIROS, S. D. S., Pinto, T. F., Hernan Salcedo, I., Cavalcante, A. D. M. B., Perez Marin, A. M., Tinôco, L. B. D. M. **Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro**. Instituto Nacional de Seminário (INSA), Campina Grande, p. 103, 2012. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/handle/1/941> . Acesso em: 30 abril 2022.

MELLO, J. C. C. B. S., ANGULO-MEZA, L., GOMES, E. G.; BIONDI NETO, L. Curso de Análise Envoltória de Dados. 2005. *In*: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 37, 2005, Gramado. **Anais [...]** ISSN 1518-1731. Rio de Janeiro: SOBRAPO, 2005. p. 2520 -2547. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2005/pdf/arq0289.pdf> . Acesso em: 14 abr. 2021.

MIKHAILOVA, Irina. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Economia e Desenvolvimento**, Santa Maria, n. 16, 2004.

MOUZAS, Stefanos. Efficiency versus effectiveness in business networks. **Journal of Business Research**, Amsterdam, v. 59, n. 10-11, p. 1124-1132, 2006.

PICAZO-TADEO, Andrés J.; BELTRÁN-ESTEVE, Mercedes; GÓMEZ-LIMÓN, José A. Assessing eco-efficiency with directional distance functions. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 220, n. 3, p. 798-809, 2012.

PINTO, Nelson Guilherme Machado; CORONEL, Daniel Arruda. Aplicação de modelos de eficiência e eficácia para a agropecuária brasileira: análise com um painel de dados. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Buenos Aires, v. 119, n. 1, p. 9, 2020.

RIOS, Leonardo Ramos. **Medindo a eficiência relativa das operações dos terminais de contêineres do MERCOSUL**. 2005, 149 p. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/4956>. Acesso em: 02 fev. 2022.

ROBALO, A. Eficácia e eficiência organizacionais. **Revista Portuguesa de Gestão II-III**, Rio de Janeiro, p. 105-116, 1995. Disponível em: [https://repositorio.iscte-iul.pt/bitstream/10071/1383/5/robalo\\_RPG\\_1995.pdf](https://repositorio.iscte-iul.pt/bitstream/10071/1383/5/robalo_RPG_1995.pdf). Acesso em: 23 ago. 2021.

ROSANO-PEÑA, Carlos *et al.* Dependência Espacial da Ecoeficiência da Agricultura em São Paulo. **BBR. Brazilian Business Review**, Vitória, v. 17, n. 3, p. 328-343, 2020.

ROSANO-PEÑA, Carlos; GOMES, Eduardo Bráz Pereira. Efciência e produtividade no setor público: conceitos e medidas. *In: MADURO-ABREU, Alexandre (Org.). Gestão judiciária: conteúdos e disciplina.* Brasília: Editora IABS, 2018. p. 188-249.

SILVA, João Vitor Borges da. **Ecoeficiência da agropecuária amazônica: custos de oportunidade e fatores condicionantes.** 2021, 120 p. Dissertação (Mestrado Agronegócios) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2021. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/40989/1/2021\\_Jo%c3%a3oVitorBorgesdaSilva.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/40989/1/2021_Jo%c3%a3oVitorBorgesdaSilva.pdf). Acesso em: 16 jan. 2022.

SILVA, João Vitor Borges da *et al.* Ecoeficiência da produção agropecuária na Amazônia brasileira: fatores determinantes e dependência espacial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 60, 2021.

SALGADO, Vivian Gullo. **Indicadores de Ecoeficiência e o Transporte de Gás Natural.** 2007, 248 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: [http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Vivian\\_Gullo\\_Salgado.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Vivian_Gullo_Salgado.pdf). Acesso em: 13 mar. 2021.

SENRA, Luis Felipe Aragão de Castro *et al.* Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 191-207, 2007.

SOLOW, R.M. A contribution to the Theory of Economic Growth. **The Quarterly Journal of Economics**, Cambridge, v.70, p.65- 94, 1956.

STĘPIEŃ, Sebastian *et al.* Eco-efficiency of small-scale farming in Poland and its institutional drivers. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 279, p. 123721, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123721>. Acesso em : 16 abr. 2021.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. (SUDENE). Delimitação do Semiárido. Recife, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acesso em: 21 de mar. de 2022.

SUZIGAN, Luís Henrique. **Ecoeficiência agropecuária nos municípios brasileiros.** 2020, 128 p. Dissertação (Mestrado Agronegócios) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2020. Disponível em:

[https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/38510/1/2020\\_LuisHenriqueSuzigan.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/38510/1/2020_LuisHenriqueSuzigan.pdf). Acesso em: 14 jan. 2021.

SUZIGAN, Luis H.; PEÑA, Carlos Rosano; GUARNIERI, Patricia. Eco-efficiency Assessment in Agriculture: A Literature Review Focused on Methods and Indicators. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 12, n. 7, 2020. Disponível em : <https://pdfs.semanticscholar.org/8f5a/d744ea85da0367996f839b18933d8ebf1fb7.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2021.

TABARELLI, Marcelo *et al.* Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 70, n. 4, p. 25-29, 2018.

TOBIN, James. Estimation of relationships for limited dependent variables. **Econometrica: journal of the Econometric Society**, New Haven, p. 24-36, 1958.

TONE, Kaoru. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. **European journal of operational research**, Amsterdam, v. 130, n. 3, p. 498-509, 2001.

VELTEN, Sarah *et al.* What is sustainable agriculture? A systematic review. **Sustainability**, Basileia, v. 7, n. 6, p. 7833-7865, 2015.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). Eco-efficiency Learning Module. 2006. Disponível em: <http://docs.wbcsd.org/2006/08/EfficiencyLearningModule.pdf> . Acesso em : 29 jan. 2021.

YOU, Heyuan; ZHANG, Xiaoling. Ecoefficiency of intensive agricultural production and its influencing factors in China: an application of DEA-Tobit analysis. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, London, v. 2016, 2016. Disponível em : <https://www.hindawi.com/journals/ddns/2016/4786090/>. Acesso em : 13 mar. 2022.

ZHANG, Xing-Ping *et al.* Total-factor energy efficiency in developing countries. **Energy Policy**, Amsterdam, v. 39, n. 2, p. 644-650, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.037>. Acesso em: 18 abr. 2022.

## ANEXO A

Tabela 21 – Proporção das áreas dos biomas

Variável	Amazônia				Caatinga				Cerrado			
	Total	M	Perc T	Perc M	T	M	Perc. T	Perc. M	T	M	Perc. Tot	Perc. M
Receitas	58.455.468,00	104.947,00	17	23,6	19.822.211,00	16.382,00	5,8	3,7	129.589.304,00	109.635,60	37,8	24,7
Matas Naturais	34.063.532,00	61.155,40	36,6	53	17.723.913,00	14.647,90	19	12,7	29.301.107,00	24.789,40	31,5	21,5
Área Plantada	93.353.140,00	167.599,90	28,5	37,2	44.303.803,00	36.614,70	13,5	8,1	118.902.233,00	100.594,10	36,3	22,3
Área de Pastagens	41.479.150,00	74.468,90	29,3	35,1	13.989.050,00	11.561,20	9,9	5,4	55.734.108,00	47.152,40	39,4	22,2
Nº de Máquinas	149.570,00	268,5	7,4	10,2	79.345,00	65,6	4	2,5	572.768,00	484,6	28,5	18,4
Nº de Trabalhadores	2.483.459,00	4.458,60	15,5	27,2	5.360.906,00	4.430,50	33,4	27,1	3.028.430,00	2.562,10	18,9	15,7
Desp. com Insumos	34.974.110,00	62.790,10	15	23	15.873.198,00	13.118,40	6,8	4,8	88.005.570,00	74.454,80	37,8	27,3
Áreas degradadas	2.465.552,00	4.426,50	24,8	42,1	3.454.767,00	2.855,20	34,7	27,1	3.065.715,00	2.593,70	30,8	24,6
Despesa com Agrotóxico	5.190.619,00	9.318,90	17,4	23	1.142.881,00	944,5	3,8	2,3	12.305.705,00	10.410,90	41,1	25,7
Incêndios	17.801,50	32	53,4	71	2.202,70	1,8	6,6	4	10.686,00	9	32,1	20,1

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 21 - Proporção das áreas dos biomas (continua)

Variável	Mata Atlântica				Pampa			
	Total	M	Perc T	Perc M	T	M	Perc. Tot	Perc. M
Receitas	120.332.272,00	47.922,10	35,1	10,8	14.861.387,00	165.126,50	4,3	37,2
Matas Naturais	11.044.195,00	4.398,30	11,9	3,8	937.859,00	10.420,70	1	9
Área Plantada	59.656.696,00	23.758,10	18,2	5,3	10.967.498,00	121.861,10	3,4	27,1
Área de Pastagens	24.003.089,00	9.559,20	17	4,5	6.275.177,00	69.724,20	4,4	32,8
Nº de Máquinas	1.083.524,00	431,5	53,9	16,3	125.162,00	1.390,70	6,2	52,7
Nº de Trabalhadores	4.926.990,00	1.962,20	30,7	12	265.862,00	2.954,00	1,7	18,1
Despesas com Insumos	85.763.126,00	34.155,00	36,9	12,5	7.969.140,00	88.546,00	3,4	32,4
Áreas degradadas	945.918,00	376,7	9,5	3,6	24.644,00	273,8	0,3	2,6
Despesa com Agrotóxico	9.835.526,00	3.917,00	32,9	9,7	1.440.439,00	16.004,90	4,8	39,4
Incêndios	2.528,30	1	7,6	2,2	106,8	1,2	0,3	2,6

Fonte: Elaboração Própria.

## ANEXO B

Tabela 22 - Municípios *Benchmarks* – ecoeficiência unitária.

ID	Município	Estado	ID	Município	Estado
2201051	Assunção do Piauí	PI	2307254	Jijoca de Jericoacoara	CE
2201556	Bela Vista do Piauí	PI	2307700	Maranguape	CE
2201903	Bom Jesus	PI	2307908	Martinópolis	CE
2201919	Bom Princípio do Piauí	PI	2308005	Massapê	CE
2201929	Bonfim do Piauí	PI	2308203	Meruoca	CE
2202026	Buriti dos Montes	PI	2308351	Milhã	CE
2202075	Cajazeiras do Piauí	PI	2308377	Miraíma	CE
2202455	Cap. Gervásio Oliveira	PI	2308708	Morada Nova	CE
2202604	Castelo do Piauí	PI	2309102	Mulungu	CE
2203271	Curral Novo do Piauí	PI	2309607	Pacajus	CE
2203453	Dom Inocêncio	PI	2309904	Pacujá	CE
2205524	Júlio Borges	PI	2311009	Poranga	CE
2206357	Milton Brandão	PI	2311306	Quixadá	CE
2207355	Pajeú do Piauí	PI	2311355	Quixelô	CE
2207900	Pedro II	PI	2312007	Santana do Acaraú	CE
2210409	São Miguel do Tapuio	PI	2312205	Santa Quitéria	CE
2211506	Vera Mendes	PI	2312304	São Benedito	CE
2211704	Wall Ferraz	PI	2313302	Tauá	CE
2300507	Alcântaras	CE	2313807	Uruburetama	CE
2300606	Altaneira	CE	2314102	Viçosa do Ceará	CE
2301851	Banabuiú	CE	2400109	Acari	RN
2302057	Barroquinha	CE	2400802	Angicos	RN
2302503	Brejo Santo	CE	2401305	Campo Grande	RN
2302602	Camocim	CE	2401651	Bodó	RN
2303105	Cariré	CE	2401909	Caiçara do Rio do Vento	RN
2303659	Catunda	CE	2402006	Caicó	RN
2303709	Caucaia	CE	2402709	Cerro Corá	RN
2303907	Chaval	CE	2403004	Cruzeta	RN
2304004	Coreaú	CE	2403103	Currais Novos	RN
2304103	Crateús	CE	2403400	Equador	RN
2304236	Croatá	CE	2403756	Fernando Pedroza	RN
2304608	General Sampaio	CE	2403806	Florânia	RN
2304707	Granja	CE	2404804	Ipueira	RN
2304954	Guaiúba	CE	2404853	Itajá	RN
2305209	Hidrolândia	CE	2404903	Itaú	RN
2305233	Horizonte	CE	2405504	Jardim de Angicos	RN
2306009	Iracema	CE	2405603	Jardim de Piranhas	RN
2306702	Jaguaretama	CE	2406106	Jucurutu	RN
2306900	Jaguaribe	CE	2406809	Lajes Pintadas	RN

Tabela 22 – Municípios *Benchmarks* – ecoeficiência unitária (continua).

<b>ID</b>	<b>Município</b>	<b>Estado</b>	<b>ID</b>	<b>Município</b>	<b>Estado</b>
2407609	Messias Targino	RN	2512788	Riacho de Santo Antônio	PB
2407906	Monte das Gameleiras	RN	2513158	Santa Cecília	PB
2408003	Mossoró	RN	2513604	Santana dos Garrotes	PB
2408706	Paraú	RN	2513851	Santo André	PB
2408805	Parazinho	RN	2514008	São João do Cariri	PB
2408904	Parelhas	RN	2514107	São João do Tigre	PB
2409100	Passa e Fica	RN	2514602	São José do Bonfim	PB
2409605	Pedra Preta	RN	2514651	S. José do Brejo do Cruz	PB
2409704	Pedro Avelino	RN	2515203	S. Sebastião do Umbuzeiro	PB
2410256	Porto do Mangue	RN	2515500	Serra Branca	PB
2410702	Riacho da Cruz	RN	2516102	Soledade	PB
2411429	Santana do Seridó	RN	2516607	Tavares	PB
2411809	São Fernando	RN	2516755	Tenório	PB
2412104	São João do Sabugi	RN	2517407	Zabelê	PB
2412401	São José do Seridó	RN	2600500	Águas Belas	PE
2413409	Serra Negra do Norte	RN	2600609	Alagoinha	PE
2414506	Umarizal	RN	2601607	Belém do São Francisco	PE
2414902	Viçosa	RN	2602100	Bom Conselho	PE
2500536	Alcantil	PB	2602407	Brejão	PE
2501534	Baraúna	PB	2603108	Cachoeirinha	PE
2501906	Belém	PB	2603504	Camocim de São Félix	PE
2502003	Belém do Brejo do Cruz	PB	2603702	Canhotinho	PE
2502151	Boa Vista	PB	2603801	Capoeiras	PE
2502607	Igaracy	PB	2604155	Casinhas	PE
2502706	Borborema	PB	2606507	Iati	PE
2503753	Cajazeirinhas	PB	2606705	Ibirajuba	PE
2504108	Carrapateira	PB	2607406	Itacuruba	PE
2504207	Catingueira	PB	2607505	Itaíba	PE
2504801	Coremas	PB	2608008	Lajedo	PE
2505501	Vista Serrana	PB	2608800	Lajedo	PE
2506202	Frei Martinho	PB	2609709	Orobó	PE
2507408	Jericó	PB	2610202	Panelas	PE
2508505	Livramento	PB	2610806	Pedra	PE
2509339	Matinhas	PB	2611101	Petrolina	PE
2510006	Nazarezinho	PB	2612000	Sairé	PE
2510907	Paulista	PB	2612307	Saloá	PE
2511608	Pilões	PB	2612455	Santa Cruz	PE
2511707	Pilõesinhos	PB	2613008	São Bento do Una	PE
2512101	Pombal	PB	2613305	São Joaquim do Monte	PE

Tabela 22 – Municípios *Benchmarks* – ecoeficiência unitária (conclusão).

<b>ID</b>	<b>Município</b>	<b>Estado</b>	<b>ID</b>	<b>Município</b>	<b>Estado</b>
2613909	Serra Talhada	PE	2911402	Glória	BA
2615201	Terra Nova	PE	2911709	Guanambi	BA
2615409	Toritama	PE	2914000	Ipirá	BA
2615805	Tupanatinga	PE	2917334	Iuiú	BA
2616001	Venturosa	PE	2918407	Juazeiro	BA
2700300	Arapiraca	AL	2919900	Macururé	BA
2700904	Belo Monte	AL	2920106	Mairi	BA
2701605	Canapi	AL	2920403	Manoel Vitorino	BA
2703304	Inhapi	AL	2920809	Marcionílio Souza	BA
2703403	Jacaré dos Homens	AL	2921609	Morpará	BA
2704401	Major Isidoro	AL	2922250	Muquém de São Francisco	BA
2705408	Monteirópolis	AL	2922730	Nova Fátima	BA
2706307	Palmeira dos Índios	AL	2923407	Palmas de Monte Alto	BA
2708006	Santana do Ipanema	AL	2923704	Paratinga	BA
2801207	Canindé de . Francisco	SE	2923803	Paripiranga	BA
2801405	Carira	SE	2924058	Pé de Serra	BA
2802304	Frei Paulo	SE	2924652	Pintadas	BA
2804508	Nossa Sra. da Glória	SE	2926004	Remanso	BA
2804706	Nossa Sra. de Lourdes	SE	2926103	Retirolândia	BA
2805604	Porto da Folha	SE	2926202	Riachão das Neves	BA
2901353	Andorinha	BA	2926301	Riachão do Jacuípe	BA
2901403	Angical	BA	2926400	Riacho de Santana	BA
2902104	Araci	BA	2926608	Ribeira do Pombal	BA
2902658	Banzaê	BA	2928000	Santaluz	BA
2903201	Barreiras	BA	2928109	Santa Maria da Vitória	BA
2903805	Boa Vista do Tupim	BA	2928208	Santana	BA
2903904	Bom Jesus da Lapa	BA	2928950	São Domingos	BA
2904407	Brejolândia	BA	2929057	São Félix do Coribe	BA
2904753	Buritirama	BA	2930303	Serra Dourada	BA
2905107	Caém	BA	2930600	Serrolândia	BA
2906402	Candeal	BA	2930774	Sobradinho	BA
2907202	Casa Nova	BA	2931905	Tucano	BA
2908101	Cocos	BA	2932002	Uauá	BA
2909406	Cotegipe	BA	2933109	Várzea do Poço	BA
2909901	Curaçá	BA	2933307	Vitória da Conquista	BA
2910800	Feira de Santana	BA	2933455	Wanderley	BA

Fonte: Elaboração Própria.

## ANEXO C

Tabela 23 – Municípios com Ecoeficiência Muito Baixa ou Baixa, por estado da federação.

<b>ID</b>	<b>UF</b>	<b>Município</b>	<b>Ecoeficiência</b>
2706208	AL	Palestina	0,33265
2703700	AL	Jaramataia	0,33753
2933158	BA	Várzea Nova	0,32384
2912400	BA	Ibipeba	0,39453
2926509	BA	Ribeira do Amparo	0,34673
2919157	BA	Lapão	0,30578
2921807	BA	Mortugaba	0,39608
2919058	BA	Lajedo do Taboca	0,25922
2925600	BA	Presidente Dutra	0,11357
2924306	BA	Piatã	0,28163
2905305	BA	Cafarnaum	0,29927
2922052	BA	Mulungu do Morro	0,3604
2904308	BA	Brejões	0,37249
2901155	BA	América Dourada	0,26341
2923050	BA	Novo Triunfo	0,37929
2922805	BA	Nova Itarana	0,335
2900207	BA	Abaré	0,29214
2929255	BA	São Gabriel	0,37237
2922854	BA	Nova Redenção	0,29656
2900504	BA	Érico Cardoso	0,3534
2903607	BA	Biritinga	0,39847
2916906	BA	Itiruçu	0,23636
2913804	BA	Ipecaetá	0,27501
2914208	BA	Irajuba	0,24372
2302909	CE	Capistrano	0,31448
2305357	CE	Icapuí	0,31215
2302107	CE	Baturité	0,3572
2310605	CE	Penaforte	0,36686
2300804	CE	Antonina do Norte	0,39792
2302909	CE	Capistrano	0,31448
2312601	CE	São Luís do Curu	0,29262
2306207	CE	Itaiçaba	0,39495
2304459	CE	Fortim ,25707	0,25707
2302305	CE	Bela Cruz	0,39798
2312809	CE	Senador Sá	0,37676
2309458	CE	Ocara	0,38196
2300903	CE	Apuiarés	0,38727
2300200	CE	Acaraú	0,36275

Tabela 23 – Municípios com Ecoeficiência Muito Baixa ou Baixa, por estado da federação (continua).

<b>ID</b>	<b>UF</b>	<b>Município</b>	<b>Ecoeficiência</b>
2510501	PB	Olivedos	0,28372
2505006	PB	Cubati	0,39157
2505709	PB	Dona Inês	0,38962
2513109	PB	Salgado de São Félix	0,32623
2509206	PB	Massaranduba	0,38178
2501005	PB	Araruna	0,31889
2509404	PB	Mogeiro	0,37629
2612703	PE	Santa Maria do Cambucá	0,35484
2612505	PE	Santa Cruz do Capibaribe	0,38664
2614808	PE	Tacaratu	0,37664
2610509	PE	Passira	0,29995
2611705	PE	Riacho das Almas	0,36799
2608057	PE	Jatobá	0,35508
2604908	PE	Cumaru	0,24489
2604304	PE	Cedro	0,35524
2605608	PE	Flores	0,39851
2605806	PE	Frei Miguelinho	0,3719
2612471	PE	Santa Cruz da Baixa Verde	0,31338
2615003	PE	Taquaritinga do Norte	0,30078
2602605	PE	Brejo da Madre de Deus	0,3569
2610301	PE	Paranatama	0,38818
2207207	PI	Padre Marcos	0,34872
2207553	PI	Paquetá	0,38931
2204204	PI	Francisco Santos	0,27963
2409332	RN	Santa Maria	0,28507
2407252	RN	Major Sales	0,31209
2410900	RN	Riachuelo	0,35865
2410603	RN	Rafael Godeiro	0,29796
2413557	RN	Serrinha dos Pintos	0,33427
2413102	RN	Senador Elói de Souza	0,39689
2401701	RN	Bom Jesus	0,39286
2413300	RN	Serra de São Bento	0,20052
2407203	RN	Macau	0,20747
2400604	RN	Almino Afonso	0,29969
2403301	RN	Encanto	0,37139
2404101	RN	Galinhas	0,37667
2413607	RN	Severiano Melo	0,25828
2414001	RN	Tangará	0,24469
2412708	RN	São Pedro	0,28056
2804458	SE	Nossa Senhora Aparecida	0,37974
2807303	SE	Telha	0,196

Tabela 23 – Municípios com Ecoeficiência Muito Baixa ou Baixa, por estado da federação (conclusão).

<b>ID</b>	<b>UF</b>	<b>Município</b>	<b>Ecoeficiência</b>
2805000	SE	Pedra Mole	0,14115
2807006	SE	São Miguel do Aleixo	0,37201

Fonte: Elaboração própria.

## ANEXO D

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2925600	Presidente Dutra	BA	0,114	1	2207207	Padre Marcos	PI	0,349	41
2805000	Pedra Mole	SE	0,141	2	2900504	Érico Cardoso	BA	0,353	42
2807303	Telha	SE	0,196	3	2612703	Santa Maria do Cambucá	PE	0,355	43
2413300	Serra de São Bento	RN	0,201	4	2608057	Jatobá	PE	0,355	44
2407203	Macau	RN	0,207	5	2604304	Cedro	PE	0,355	45
2916906	Itiruçu	BA	0,236	6	2602605	Brejo da Madre de Deus	PE	0,357	46
2914208	Irajuba	BA	0,244	7	2302107	Baturité	CE	0,357	47
2414001	Tangará	RN	0,245	8	2410900	Riachuelo	RN	0,359	48
2604908	Cumaru	PE	0,245	9	2922052	Mulungu do Morro	BA	0,360	49
2304459	Fortim	CE	0,257	10	2300200	Acará	CE	0,363	50
2413607	Severiano Melo	RN	0,258	11	2310605	Penaforte	CE	0,367	51
2919058	Lajedo do Tabocal	BA	0,259	12	2611705	Riacho das Almas	PE	0,368	52
2901155	América Dourada	BA	0,263	13	2403301	Encanto	RN	0,371	53
2913804	Ipecaetá	BA	0,275	14	2605806	Frei Miguelinho	PE	0,372	54
2204204	Francisco Santos	PI	0,280	15	2807006	São Miguel do Aleixo	SE	0,372	55
2412708	São Pedro	RN	0,281	16	2929255	São Gabriel	BA	0,372	56
2924306	Piatã	BA	0,282	17	2904308	Brejões	BA	0,372	57
2510501	Oliveiros	PB	0,284	18	2509404	Mogeiro	PB	0,376	58
2409332	Santa Maria	RN	0,285	19	2614808	Tacaratu	PE	0,377	59
2900207	Abaré	BA	0,292	20	2404101	Galinhas	RN	0,377	60
2312601	São Luís do Curu	CE	0,293	21	2312809	Senador Sá	CE	0,377	61
2922854	Nova Redenção	BA	0,297	22	2923050	Novo Triunfo	BA	0,379	62
2410603	Rafael Godeiro	RN	0,298	23	2804458	Nossa Senhora Aparecida	SE	0,380	63
2905305	Cafarnaum	BA	0,299	24	2509206	Massaranduba	PB	0,382	64
2400604	Almino Afonso	RN	0,300	25	2309458	Ocara	CE	0,382	65
2610509	Passira	PE	0,300	26	2612505	Santa Cruz do Capibaribe	PE	0,387	66
2615003	Taquaritinga do Norte	PE	0,301	27	2300903	Apuiarés	CE	0,387	67
2919157	Lapão	BA	0,306	28	2610301	Paranatama	PE	0,388	68
2407252	Major Sales	RN	0,312	29	2207553	Paquetá	PI	0,389	69
2305357	Icapuí	CE	0,312	30	2505709	Dona Inês	PB	0,390	70
2612471	Santa Cruz da Baixa Verde	PE	0,313	31	2505006	Cubati	PB	0,392	71
2302909	Capistrano	CE	0,314	32	2401701	Bom Jesus	RN	0,393	72
2501005	Araruna	PB	0,319	33	2912400	Ibipeba	BA	0,395	73
2933158	Várzea Nova	BA	0,324	34	2306207	Itaiçaba	CE	0,395	74
2513109	Salgado de São Félix	PB	0,326	35	2921807	Mortugaba	BA	0,396	75
2706208	Palestina	AL	0,333	36	2413102	Senador Elói de Souza	RN	0,397	76
2413557	Serrinha dos Pintos	RN	0,334	37	2300804	Antonina do Norte	CE	0,398	77
2922805	Nova Itarana	BA	0,335	38	2302305	Bela Cruz	CE	0,398	78
2703700	Jaramataia	AL	0,338	39	2903607	Biritinga	BA	0,398	79
2926509	Ribeira do Amparo	BA	0,347	40	2605608	Flores	PE	0,399	80

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (continuação).

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2511400	Picuí	PB	0,400	81	2916856	Itatim	BA	0,442	121
2206506	Monsenhor Hipólito	PI	0,401	82	2916500	Itapicuru	BA	0,442	122
2506905	Itabaiana	PB	0,402	83	2414308	Timbaúba dos Batistas	RN	0,444	123
2503506	Cacimba de Dentro	PB	0,404	84	2501203	Areial	PB	0,445	124
2303204	Caririaçu	CE	0,404	85	2933406	Wagner	BA	0,449	125
2514453	São José dos Ramos	PB	0,404	86	2301208	Aracoiaba	CE	0,449	126
2210938	Sussuapara	PI	0,405	87	2411106	Ruy Barbosa	RN	0,449	127
2312403	São Gonçalo do Amarante	CE	0,406	88	2308401	Missão Velha	CE	0,450	128
2301901	Barbalha	CE	0,406	89	2411908	São Francisco do Oeste	RN	0,450	129
2906204	Canarana	BA	0,408	90	2414803	Vera Cruz	RN	0,450	130
2407005	Luís Gomes	RN	0,408	91	2301950	Barreira	CE	0,450	131
2506806	Ingá	PB	0,409	92	2923357	Ouroândia	BA	0,452	132
2614402	Solidão	PE	0,409	93	2922656	Nordestina	BA	0,452	133
2707206	Poço das Trincheiras	AL	0,409	94	2800100	Amparo de São Francisco	SE	0,454	134
2410306	Serra Caiada	RN	0,410	95	2616100	Verdejante	PE	0,454	135
2409902	Pendências	RN	0,410	96	2500502	Alagoinha	PB	0,454	136
2902807	Barra de Estiva	BA	0,411	97	2932408	Uibaí	BA	0,455	137
2603306	Calçado	PE	0,411	98	2919009	Lajedinho	BA	0,456	138
2929701	Sátiro Dias	BA	0,413	99	2903235	Barro Alto	BA	0,456	139
2401453	Baraúna	RN	0,414	100	2303501	Cascavel	CE	0,456	140
2411205	Santa Cruz	RN	0,415	101	2928307	Santanópolis	BA	0,458	141
2405306	Boa Saúde	RN	0,415	102	2703106	Igaci	AL	0,459	142
2310001	Palhano	CE	0,416	103	2307809	Marco	CE	0,460	143
2307304	Juazeiro do Norte	CE	0,417	104,5	2905156	Caetanos	BA	0,460	144
2500908	Arara	PB	0,417	104,5	2931509	Teofilândia	BA	0,460	145
2200251	Alagoinha do Piauí	PI	0,418	106	2616183	Vertente do Lério	PE	0,460	146
2209377	Santa Rosa do Piauí	PI	0,418	107	2400901	Antônio Martins	RN	0,461	147
2922904	Nova Soure	BA	0,422	108	2311108	Porteiras	CE	0,461	148
2307106	Jardim	CE	0,423	109	2210201	São José do Piauí	PI	0,461	149
2406304	Lagoa de Pedras	RN	0,424	110	2404507	Guamaré	RN	0,462	150
2918357	João Dourado	BA	0,424	111	2914406	Iraquara	BA	0,462	151
2925253	Ponto Novo	BA	0,424	112	2506103	Fagundes	PB	0,463	152
2500577	Algodão de Jandáira	PB	0,426	113	2607703	Itapetim	PE	0,463	153
2615102	Terezinha	PE	0,428	114	2919108	Lamarão	BA	0,464	154
2501708	Barra de São Miguel	PB	0,430	115	2801900	Cumbe	SE	0,465	155
2412500	São Miguel	RN	0,430	116	2304806	Granjeiro	CE	0,467	156
2503902	Camalaú	PB	0,432	117	2210979	Tanque do Piauí	PI	0,468	157
2907905	Cipó	BA	0,434	118	2918605	Jussiapé	BA	0,468	158
2410405	Pureza	RN	0,438	119	2508307	Lagoa Seca	PB	0,469	159
2615706	Triunfo	PE	0,439	120	2612109	Salgadinho	PE	0,471	160

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (continuação).

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2601102	Araripina	PE	0,471	161	2311207	Potengi	CE	0,501	201
2930808	Souto Soares	BA	0,471	162	2300754	Amontada	CE	0,502	202
2921302	Milagres	BA	0,474	163	2930766	Sítio do Quinto	BA	0,503	203
2504074	Caraúbas	PB	0,474	164	2501104	Areia	PB	0,503	204
2608107	João Alfredo	PE	0,475	165	2932606	Urandi	BA	0,504	205
2608255	Jucati	PE	0,476	166	2414407	Touros	RN	0,504	206
2313757	Umirim	CE	0,476	167	2306405	Itapipoca	CE	0,507	207
2613206	São João	PE	0,478	168	2309201	Nova Olinda	CE	0,510	208
2413359	Serra do Mel	RN	0,478	169	2413805	Taboleiro Grande	RN	0,510	209
2600104	Afogados da Ingazeira	PE	0,479	170	2406205	Lagoa d'Anta	RN	0,512	210
2412609	São Paulo do Potengi	RN	0,481	171	2924801	Piritiba	BA	0,513	211
2306603	Itatira	CE	0,482	172	2405405	Japi	RN	0,513	212
2209500	Santo Inácio do Piauí	PI	0,482	173	2202307	Canto do Buriti	PI	0,514	213
2412302	São José do Campestre	RN	0,482	174	2414605	Upanema	RN	0,515	214
2504009	Campina Grande	PB	0,482	175	2401107	Areia Branca	RN	0,515	215
2615607	Trindade	PE	0,483	176	2613107	São Caitano	PE	0,515	216
2311801	Russas	CE	0,483	177	2506004	Esperança	PB	0,515	217
2406601	Lagoa Salgada	RN	0,483	178	2512747	Riachão	PB	0,516	218
2508208	Lagoa de Dentro	PB	0,485	179	2409308	Patu	RN	0,517	219
2921450	Mirante	BA	0,486	180	2515807	Serra Redonda	PB	0,517	220
2907608	Central	BA	0,488	181	2909208	Coronel João Sá	BA	0,517	221
2609303	Mirandiba	PE	0,488	182	2913705	Inhambupe	BA	0,518	222
2910750	Fátima	BA	0,489	183	2931004	Tanhaçu	BA	0,519	223
2409209	Passagem	RN	0,490	184	2928802	Santo Estêvão	BA	0,520	224
2802601	Gracho Cardoso	SE	0,490	185	2603900	Carnaíba	PE	0,520	225
2409407	Pau dos Ferros	RN	0,491	186	2709202	Traipu	AL	0,521	226
2413706	Sítio Novo	RN	0,493	187	2917201	Ituaçu	BA	0,521	227
2919801	Macaúbas	BA	0,494	188	2310951	Pires Ferreira	CE	0,522	228
2705002	Mata Grande	AL	0,494	189	2412906	São Tomé	RN	0,523	229
2209401	Santo Antônio de Lisboa	PI	0,495	190	2924207	Pedro Alexandre	BA	0,524	230
2927606	Santa Brígida	BA	0,495	191	2801108	Canhoba	SE	0,525	231
2413508	Serrinha	RN	0,496	192	2925907	Quijingue	BA	0,525	232
2613503	São José do Belmonte	PE	0,497	193	2206902	Novo Oriente do Piauí	PI	0,527	233
2901304	Andaraí	BA	0,498	194	2616209	Vertentes	PE	0,528	234
2500734	Amparo	PB	0,498	195	2924603	Pindobaçu	BA	0,529	235
2204659	Ilha Grande	PI	0,498	196	2511806	Pirpirituba	PB	0,529	236
2411601	São Bento do Norte	RN	0,498	197	2500304	Alagoa Grande	PB	0,530	237
2501302	Arociras	PB	0,499	198	2508406	Lastro	PB	0,530	238
2930501	Serrinha	BA	0,500	199	2306504	Itapiúna	CE	0,530	239
2512754	Riachão do Bacamarte	PB	0,500	200	2407302	Marcelino Vieira	RN	0,531	240

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (continuação).

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2702405	Delmiro Gouveia	AL	0,531	241	2932457	Umburanas	BA	0,548	281
2307007	Jaguaruana	CE	0,531	242	2300150	Acarape	CE	0,548	282
2405702	Jardim do Seridó	RN	0,531	243	2301406	Aratuba	CE	0,548	283
2607307	Ipubi	PE	0,532	244	2910701	Euclides da Cunha	BA	0,549	284
2411007	Rodolfo Fernandes	RN	0,532	245	2510105	Nova Floresta	PB	0,549	285
2904050	Bonito	BA	0,532	246	2300705	Alto Santo	CE	0,550	286
2309003	Mucambo	CE	0,533	247	2301802	Baixio	CE	0,550	287
2515906	Serraria	PB	0,533	248	2311504	Quixeré	CE	0,550	288
2405108	Jandaíra	RN	0,533	249	2605004	Cupira	PE	0,552	289
2401859	Caiçara do Norte	RN	0,535	250	2923506	Palmeiras	BA	0,553	290
2910107	Dom Basílio	BA	0,535	251	2509503	Montadas	PB	0,555	291
2908804	Contendas do Sincorá	BA	0,536	252	2704609	Maravilha	AL	0,556	292
2505402	Desterro	PB	0,536	253	2600807	Altinho	PE	0,556	293
2505105	Cuité	PB	0,537	254	2516805	Triunfo	PB	0,557	294
2211605	Vila Nova do Piauí	PI	0,537	255	2414704	Várzea	RN	0,557	295
2311603	Redenção	CE	0,537	256	2912509	Ibipitanga	BA	0,557	296
2409506	Pedra Grande	RN	0,538	257	2405009	Jaçaná	RN	0,558	297
2924702	Piripá	BA	0,538	258	2609154	Manari	PE	0,559	298
2403707	Felipe Guerra	RN	0,538	259	2411056	Tibau	RN	0,559	299
2917607	Jaguaquara	BA	0,539	260	2503803	Caldas Brandão	PB	0,559	300
2919959	Maetinga	BA	0,539	261	2600302	Agrestina	PE	0,560	301
2505907	Emas	PB	0,540	262	2308609	Monsenhor Tabosa	CE	0,563	302
2308906	Morrinhos	CE	0,540	263	2614303	Moreilândia	PE	0,563	303
2312502	São João do Jaguaribe	CE	0,540	264	2904209	Botuporã	BA	0,563	304
2512705	Remígio	PB	0,541	265	2410207	Portalegre	RN	0,563	305
2311264	Quiterianópolis	CE	0,542	266	2305803	Ipu	CE	0,564	306
2933059	Várzea da Roça	BA	0,542	267	2901809	Antônio Gonçalves	BA	0,564	307
2909604	Crisópolis	BA	0,542	268	2515930	Sertãozinho	PB	0,564	308
2201960	Brasileira	PI	0,543	269	2921401	Mirangaba	BA	0,565	309
2400505	Alexandria	RN	0,544	270	2803708	Macambira	SE	0,566	310
2925709	Presidente Jânio Quadros	BA	0,544	271	2414100	Tenente Ananias	RN	0,566	311
2210300	São Julião	PI	0,545	272	2301257	Ararendá	CE	0,567	312
2313559	Tururu	CE	0,545	273	2306553	Itarema	CE	0,568	313
2704104	Lagoa da Canoa	AL	0,545	274	2923605	Paramirim	BA	0,568	314
2500809	Araçagi	PB	0,546	275	2911303	Gentio do Ouro	BA	0,569	315
2603926	Carnaubeira da Penha	PE	0,547	276	2507606	Juarez Távora	PB	0,570	316
2504157	Casserengue	PB	0,547	277	2507804	Junco do Seridó	PB	0,570	317
2923100	Olindina	BA	0,547	278	2907558	Caturama	BA	0,570	318
2504702	Congo	PB	0,547	279	2921708	Morro do Chapéu	BA	0,570	319
2515401	São Vicente do Seridó	PB	0,547	280	2702553	Estrela de Alagoas	AL	0,571	320

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (continuação).

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2507200	Itatuba	PB	0,572	321	2314003	Várzea Alegre	CE	0,598	361
2914604	Irecê	BA	0,572	322	2202091	Caldeirão Grande do Piauí	PI	0,598	362
2912608	Ibiquera	BA	0,574	323	2701803	Carneiros	AL	0,599	363
2500700	São João do Rio do Peixe	PB	0,574	324	2705705	Olho d'Água das Flores	AL	0,599	364
2909000	Cordeiros	BA	0,575	325	2921203	Miguel Calmon	BA	0,600	365
2608404	Jurema	PE	0,575	326	2926905	Rio do Pires	BA	0,600	366
2606903	Iguaraci	PE	0,576	327	2517209	Vieirópolis	PB	0,600	367
2402501	Carnaubais	RN	0,576	328	2806008	Ribeirópolis	SE	0,601	368
2908705	Condeúba	BA	0,579	329	2503605	Caiçara	PB	0,602	369
2932804	Utinga	BA	0,579	330	2304301	Farias Brito	CE	0,602	370
2304251	Cruz	CE	0,579	331	2200707	Anísio de Abreu	PI	0,603	371
2510303	Nova Palmeira	PB	0,580	332	2931053	Tanque Novo	BA	0,604	372
2201002	Arraial	PI	0,581	333	2313500	Trairi	CE	0,604	373
2410108	Poço Branco	RN	0,581	334	2904100	Boquira	BA	0,604	374
2208809	Regeneração	PI	0,582	335	2201739	Betânia do Piauí	PI	0,605	375
2607109	Ingazeira	PE	0,582	336	2611533	Quixaba	PE	0,605	376
2601003	Angelim	PE	0,584	337	2208403	Piripiri	PI	0,607	377
2924504	Pindaí	BA	0,585	338	2501500	Bananeiras	PB	0,607	378
2707107	Piranhas	AL	0,586	339	2516706	Teixeira	PB	0,608	379
2400703	Alto do Rodrigues	RN	0,586	340	2903953	Bom Jesus da Serra	BA	0,611	380
2407401	Martins	RN	0,586	341	2410504	Rafael Fernandes	RN	0,613	381
2402808	Coronel Ezequiel	RN	0,587	342	2512804	Riacho dos Cavalos	PB	0,613	382
2204808	Ipiranga do Piauí	PI	0,587	343	2503100	Cabaceiras	PB	0,613	383
2305308	Ibiapina	CE	0,588	344	2515104	São Sebastião de Lagoa de Roça	PB	0,615	384
2207306	Paes Landim	PI	0,588	345	2900108	Abaíra	BA	0,616	385
2514206	São José da Lagoa Tapada	PB	0,588	346	2513208	Santa Cruz	PB	0,616	386
2408607	Paraná	RN	0,589	347	2505204	Cuitegi	PB	0,618	387
2906808	Cansanção	BA	0,589	348	2305332	Ibicuitinga	CE	0,619	388
2910776	Feira da Mata	BA	0,589	349	2925956	Rafael Jambeiro	BA	0,619	389
2305654	Ipaporanga	CE	0,589	350	2927200	Ruy Barbosa	BA	0,620	390
2202251	Canavieira	PI	0,590	351	2917409	Jacaraci	BA	0,621	391
2401503	Barcelona	RN	0,590	352	2405207	Janduís	RN	0,623	392
2906899	Caraíbas	BA	0,591	353	2611200	Poço	PE	0,623	393
2309409	Novo Oriente	CE	0,592	354	2401800	Brejinho	RN	0,623	394
2615904	Tuparetama	PE	0,592	355	2204352	Geminiano	PI	0,624	395
2614006	Serrita	PE	0,593	356	2900355	Adustina	BA	0,624	396
2907806	Cícero Dantas	BA	0,593	357	2931301	Tapiramutá	BA	0,625	397
2209955	São João da Varjota	PI	0,594	358	2512036	Poço Dantas	PB	0,626	398
2400307	Afonso Bezerra	RN	0,595	359	2202505	Caracol	PI	0,628	399
2603405	Calumbi	PE	0,596	360	2608305	Jupi	PE	0,629	400

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (continuação).

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2200277	Alegrete do Piauí	PI	0,630	401	2406502	Lagoa Nova	RN	0,652	441
2923035	Novo Horizonte	BA	0,631	402	2515609	Serra da Raiz	PB	0,652	442
2706109	Ouro Branco	AL	0,632	403	2912004	Ibiassucê	BA	0,653	443
2903276	Barrocas	BA	0,634	404	2903508	Belo Campo	BA	0,653	444
2509370	Mato Grosso	PB	0,635	405	2205201	Jaicós	PI	0,654	445
2913309	Ichu	BA	0,635	406	2605707	Floresta	PE	0,655	446
2302701	Campos Sales	CE	0,635	407	2506707	Imaculada	PB	0,655	447
2504355	Caturité	PB	0,636	408	2303956	Chorozinho	CE	0,655	448
2611002	Petrolândia	PE	0,636	409	2516003	Solânea	PB	0,656	449
2801603	Cedro de São João	SE	0,637	410	2406403	Lagoa de Velhos	RN	0,656	450
2503555	Cacimbas	PB	0,638	411	2905008	Caculé	BA	0,657	451
2907707	Chorrochó	BA	0,638	412	2202133	Campo Grande do Piauí	PI	0,657	452
2313906	Uruoca	CE	0,639	413	2929800	Saúde	BA	0,657	453
2915007	Itaeté	BA	0,639	414	2510402	Olho d'Água	PB	0,658	454
2925808	Queimadas	BA	0,639	415	2303600	Catarina	CE	0,659	455
2313252	Tarrafas	CE	0,640	416	2914109	Ipupiara	BA	0,661	456
2313609	Ubajara	CE	0,641	417	2313955	Varjota	CE	0,661	457
2509008	Manaíra	PB	0,641	418	2913101	Ibititá	BA	0,661	458
2510204	Nova Olinda	PB	0,641	419,5	2305266	Ibaretama	CE	0,661	459
2516904	Uiraúna	PB	0,641	419,5	2500775	Aparecida	PB	0,662	460
2506301	Guarabira	PB	0,643	421	2512507	Queimadas	PB	0,662	461
2901205	Anagé	BA	0,643	422	2308302	Milagres	CE	0,664	462
2512002	Pocinhos	PB	0,643	423	2933000	Valente	BA	0,666	463
2311231	Potiretama	CE	0,643	424	2404606	Ielmo Marinho	RN	0,666	464
2208700	Redenção do Gurguéia	PI	0,643	425	2614501	Surubim	PE	0,666	465
2924405	Pilão Arcado	BA	0,645	426	2309508	Orós	CE	0,667	466
2407104	Macaíba	RN	0,645	427	2702009	Coité do Nóia	AL	0,668	467
2311959	Salitre	CE	0,645	428	2613602	São José do Egito	PE	0,668	468
2926707	Rio de Contas	BA	0,645	429	2604106	Caruaru	PE	0,669	469
2306306	Itapagé	CE	0,646	430	2905206	Caetité	BA	0,669	470
2303303	Cariús	CE	0,648	431	2919504	Livramento de Nossa Senhora	BA	0,669	471
2508554	Logradouro	PB	0,649	432	2929370	São José do Jacuípe	BA	0,671	472
2614600	Tabira	PE	0,650	433	2913200	Ibotirama	BA	0,671	473
2300309	Acopiara	CE	0,650	434	2210904	Socorro do Piauí	PI	0,671	474
2509909	Natuba	PB	0,650	435	2602506	Brejinho	PE	0,672	475
2303931	Choró	CE	0,650	436	2402105	Campo Redondo	RN	0,673	476
2929909	Seabra	BA	0,651	437	2914307	Iramaia	BA	0,674	477
2202000	Buriti dos Lopes	PI	0,651	438	2308500	Mombaça	CE	0,674	478
2506400	Gurinhém	PB	0,652	439	2708402	São José da Tapera	AL	0,675	479
2201804	Bocaina	PI	0,652	440	2706000	Oliveira	AL	0,675	480

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (continuação).

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2412559	São Miguel do Gostoso	RN	0,675	481	2600203	Afrânio	PE	0,698	521
2612554	Santa Filomena	PE	0,675	482	2410801	Riacho de Santana	RN	0,698	522
2609808	Orocó	PE	0,676	483	2306108	Irauçuba	CE	0,699	523
2402303	Caraubas	RN	0,676	484	2510808	Patos	PB	0,699	524
2903706	Boa Nova	BA	0,677	485	2307502	Lavras da Mangabeira	CE	0,699	525
2210706	Simões	PI	0,678	486	2507705	Juazeirinho	PB	0,700	526
2204154	Francisco Macedo	PI	0,678	487	2923209	Oliveira dos Brejinhos	BA	0,700	527
2921500	Monte Santo	BA	0,678	488	2913002	Ibitiara	BA	0,701	528
2301703	Aurora	CE	0,679	489	2606002	Garanhuns	PE	0,702	529
2505352	Damião	PB	0,680	490	2612208	Salgueiro	PE	0,703	530
2920304	Malhada de Pedras	BA	0,680	491	2205953	Marcolândia	PI	0,703	531
2313005	Solonópole	CE	0,681	492	2210953	Tamboril do Piauí	PI	0,705	532
2612802	Santa Terezinha	PE	0,681	493	2401008	Apodi	RN	0,705	533
2402907	Coronel João Pessoa	RN	0,682	494	2925006	Planalto	BA	0,705	534
2605301	Exu	PE	0,682	495	2516300	Sumé	PB	0,707	535
2911659	Guajeru	BA	0,682	496	2514909	São Mamede	PB	0,707	536
2601805	Betânia	PE	0,683	497	2602209	Bom Jardim	PE	0,710	537
2902609	Baixa Grande	BA	0,683	498	2301109	Aracati	CE	0,710	538
2606309	Granito	PE	0,683	499	2203800	Flores do Piauí	PI	0,711	539
2208304	Piracuruca	PI	0,684	500	2207934	Pedro Laurentino	PI	0,711	540
2312700	Senador Pompeu	CE	0,684	501	2911907	Iaçu	BA	0,711	541
2302404	Boa Viagem	CE	0,684	502	2919405	Licínio de Almeida	BA	0,712	542
2924009	Paulo Afonso	BA	0,685	503	2908408	Conceição do Coité	BA	0,713	543
2208007	Picos	PI	0,685	504	2201572	Belém do Piauí	PI	0,713	544
2514552	São José de Princesa	PB	0,686	505	2907103	Carinhanha	BA	0,714	545
2305001	Guaraciaba do Norte	CE	0,688	506	2807105	Simão Dias	SE	0,715	546
2309300	Nova Russas	CE	0,688	507	2202554	Caridade do Piauí	PI	0,717	547
2308104	Mauriti	CE	0,689	508	2514404	São José de Espinharas	PB	0,717	548
2205102	Itaucira	PI	0,689	509	2207850	Pavussu	PI	0,718	549
2509396	Maturéia	PB	0,690	510	2926806	Rio do Antônio	BA	0,718	550
2209708	São Francisco do Piauí	PI	0,690	511	2301307	Araripe	CE	0,718	551
2805505	Poço Verde	SE	0,690	512	2922102	Mundo Novo	BA	0,719	552
2503407	Cacimba de Areia	PB	0,690	513	2921906	Mucugê	BA	0,719	553
2510659	Parari	PB	0,691	514	2911857	Heliópolis	BA	0,720	554
2209856	São João da Canabrava	PI	0,692	515	2902005	Aracatu	BA	0,720	555
2606606	Ibimirim	PE	0,693	516	2930907	Tabocas do Brejo Velho	BA	0,721	556
2933604	Xique-Xique	BA	0,694	517	2708956	Senador Rui Palmeira	AL	0,723	557
2300101	Abaicara	CE	0,697	518	2928505	Santa Teresinha	BA	0,723	558
2601201	Arcoverde	PE	0,697	519	2803104	Itabi	SE	0,724	559
2919603	Macajuba	BA	0,698	520	2310407	Paramoti	CE	0,725	560

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (continuação.)

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2400208	Açu	RN	0,725	561	2311900	Saboeiro	CE	0,745	601
2605103	Custódia	PE	0,726	562	2210607	São Raimundo Nonato	PI	0,745	602
2512309	Princesa Isabel	PB	0,727	563	2305704	Ipaumirim	CE	0,746	603
2207702	Parnaíba	PI	0,727	564	2504306	Catolé do Rocha	PB	0,746	604
2920502	Maracás	BA	0,727	565	2501609	Barra de Santa Rosa	PB	0,747	605
2607000	Inajá	PE	0,727	566	2207777	Patos do Piauí	PI	0,748	606
2517001	Umbuzeiro	PB	0,727	567	2310506	Pedra Branca	CE	0,748	607
2802403	Gararu	SE	0,728	568	2203420	Domingos Mourão	PI	0,748	608
2906600	Candiba	BA	0,728	569	2404705	Ipanguaçu	RN	0,749	609
2306801	Jaguaribara	CE	0,729	570	2414159	Tenente Laurentino Cruz	RN	0,751	610
2500403	Alagoa Nova	PB	0,729	571	2610400	Parnamirim	PE	0,753	611
2312106	Santana do Cariri	CE	0,729	572	2901601	Antas	BA	0,754	612
2305506	Iguatu	CE	0,730	573	2301604	Assaré	CE	0,754	613
2405801	João Câmara	RN	0,730	574	2203404	Dom Expedito Lopes	PI	0,755	614
2909703	Cristópolis	BA	0,730	575	2405900	João Dias	RN	0,756	615
2200954	Aroeiras do Itaim	PI	0,730	576	2920452	Mansidão	BA	0,757	616
2202752	Colônia do Gurguéia	PI	0,730	577	2305407	Icó	CE	0,757	617
2706406	Pão de Açúcar	AL	0,731	578	2514305	São José de Caiana	PB	0,757	618
2511103	Pedra Lavrada	PB	0,731	579	2209104	Santa Cruz do Piauí	PI	0,757	619
2612406	Sanharó	PE	0,732	580	2304350	Forquilha	CE	0,758	620
2411502	Santo Antônio	RN	0,732	581	2411403	Santana do Matos	RN	0,758	621
2610905	Pesqueira	PE	0,733	582	2904605	Brumado	BA	0,759	622
2602001	Bodocó	PE	0,734	583	2304509	Frecheirinha	CE	0,759	623
2100907	Araiozes	MA	0,734	584,5	2701209	Cacimbinhas	AL	0,761	624
2917706	Jaguarari	BA	0,734	584,5	2924900	Planaltino	BA	0,761	625
2402402	Carnaúba dos Dantas	RN	0,735	586	2501351	Assunção	PB	0,762	626
2505808	Duas Estradas	PB	0,736	587	2205706	Luís Correia	PI	0,762	627
2310100	Palmácia	CE	0,736	588	2302800	Canindé	CE	0,762	628
2403905	Francisco Dantas	RN	0,737	589	2606408	Gravatá	PE	0,763	629
2502102	Boa Ventura	PB	0,737	590	2902708	Barra	BA	0,763	630
2309805	Pacoti	CE	0,737	591	2504405	Conceição	PB	0,763	631
2913408	Igaporã	BA	0,738	592	2930105	Senhor do Bonfim	BA	0,764	632
2304269	Deputado Irapuan Pinheiro	CE	0,738	593	2209658	São Francisco de Assis do Piauí	PI	0,764	633
2202802	Conceição do Canindé	PI	0,740	594	2313203	Tamboril	CE	0,766	634
2313351	Tejuçuoca	CE	0,741	595	2515708	Serra Grande	PB	0,767	635
2918506	Jussara	BA	0,743	596	2512408	Puxinanã	PB	0,767	636
2307205	Jati	CE	0,743	597	2601904	Bezerros	PE	0,768	637
2304202	Crato	CE	0,743	598	2918001	Jequié	BA	0,769	638
2805208	Pinhão	SE	0,744	599	2200509	Amarante	PI	0,769	639
2406700	Lajes	RN	0,745	600	2912202	Ibicoara	BA	0,769	640

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (continuação).

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2915353	Itaguaçu da Bahia	BA	0,771	641	2508703	Mãe d'Água	PB	0,804	681
2800209	Aquidabã	SE	0,772	642	2313708	Umari	CE	0,805	682
2205359	João Costa	PI	0,773	643	2411700	São Bento do Trairi	RN	0,805	683
2310308	Parambu	CE	0,773	644	2516201	Sousa	PB	0,806	684
2605152	Dormentes	PE	0,774	645	2304905	Groaíras	CE	0,806	685
2920205	Malhada	BA	0,775	646	2516151	Sossêgo	PB	0,806	686
2500106	Água Branca	PB	0,776	647	2930758	Sítio do Mato	BA	0,807	687
2406908	Lucrécia	RN	0,776	648	2705804	Olho d'Água do Casado	AL	0,807	688
2802205	Feira Nova	SE	0,777	649	2514701	São José do Sabugi	PB	0,808	689
2603009	Cabrobó	PE	0,777	650	2512606	Quixabá	PB	0,808	690
2205532	Jurema	PI	0,777	651	2413003	São Vicente	RN	0,809	691
2207801	Paulistana	PI	0,778	652	2930154	Serra do Ramalho	BA	0,810	692
2204303	Fronteiras	PI	0,779	653	2302008	Barro	CE	0,810	693
2513901	São Bento	PB	0,779	654	2513984	São Francisco	PB	0,810	694
2502805	Brejo do Cruz	PB	0,780	655	2901007	Amargosa	BA	0,810	695
2307601	Limoeiro do Norte	CE	0,780	656	2205599	Lagoa do Sítio	PI	0,810	696
2208858	Riacho Frio	PI	0,780	657	2312908	Sobral	CE	0,810	697
2203206	Curimatá	PI	0,781	658	2931806	Tremedal	BA	0,811	698
2506608	Ibiara	PB	0,782	659	2210805	Simplicio Mendes	PI	0,812	699
2209559	São Braz do Piauí	PI	0,783	660	2209302	Santa Luz	PI	0,813	700
2927507	Santa Bárbara	BA	0,785	661	2914703	Itaberaba	BA	0,813	701
2204709	Inhuma	PI	0,786	662	2204550	Guaribas	PI	0,813	702
2604502	Chã Grande	PE	0,786	663	2917003	Itiúba	BA	0,814	703
2513802	Santa Teresinha	PB	0,788	664	2205573	Lagoa de São Francisco	PI	0,815	704
2904506	Brotas de Macaúbas	BA	0,788	665	2201988	Brejo do Piauí	PI	0,815	705
2931103	Tanquinho	BA	0,788	666	2513307	Santa Helena	PB	0,815	706
2412807	São Rafael	RN	0,789	667	2203008	Cristalândia do Piauí	PI	0,816	707
2210623	Sebastião Barros	PI	0,790	668	2702900	Girau do Ponciano	AL	0,818	708
2705309	Minador do Negrão	AL	0,790	669	2514800	São José dos Cordeiros	PB	0,820	709
2414753	Venha-Ver	RN	0,792	670	2925105	Poçoões	BA	0,820	710
2302206	Beberibe	CE	0,792	671	2500205	Aguiar	PB	0,821	711
2516508	Taperoá	PB	0,794	672	2517100	Várzea	PB	0,822	712
2509156	Marizópolis	PB	0,794	673	2907301	Castro Alves	BA	0,822	713
2507002	Itaporanga	PB	0,794	674	2200053	Acauã	PI	0,822	714
2202109	Campinas do Piauí	PI	0,795	675	2512077	Poço de José de Moura	PB	0,825	715
2202778	Colônia do Piauí	PI	0,795	676	2308807	Moraújo	CE	0,826	716
2209005	Rio Grande do Piauí	PI	0,797	677	2301505	Arneiroz	CE	0,827	717
2207009	Oeiras	PI	0,799	678	2906824	Canudos	BA	0,827	718
2303006	Caridade	CE	0,802	679	2930006	Sebastião Laranjeiras	BA	0,828	719
2918100	Jeremoabo	BA	0,804	680	2502201	Bom Jesus	PB	0,831	720

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (continuação).

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2206050	Massapê do Piauí	PI	0,833	721	2804201	Monte Alegre de Sergipe	SE	0,875	761
2513943	São Domingos do Cariri	PB	0,833	722	2513968	São Domingos	PB	0,877	762
2512200	Prata	PB	0,834	723	2303808	Cedro	CE	0,879	763
2300408	Aiuaba	CE	0,835	724	2406007	José da Penha	RN	0,880	764
2609907	Ouricuri	PE	0,836	725	2210003	São João do Piauí	PI	0,881	765
2511004	Pedra Branca	PB	0,837	726	2919306	Lençóis	BA	0,881	766
2305605	Independência	CE	0,837	727	2702504	Dois Riachos	AL	0,881	767
2516409	Tacima	PB	0,837	728	2408409	Olho-d'Água do Borges	RN	0,882	768
2501153	Areia de Baraúnas	PB	0,838	729	2203107	Cristino Castro	PI	0,882	769
2304657	Graça	CE	0,838	730	2906105	Canápolis	BA	0,883	770
2504850	Coxixola	PB	0,841	731	2209872	São João da Fronteira	PI	0,883	771
2211308	Valença do Piauí	PI	0,843	732	2502052	Bernardino Batista	PB	0,883	772
2700706	Batalha	AL	0,843	733	2305100	Guaramiranga	CE	0,884	773
2508000	Juru	PB	0,843	734	2903003	Barra do Mendes	BA	0,884	774
2203859	Floresta do Piauí	PI	0,844	735	2310803	Pereiro	CE	0,885	775
2510709	Passagem	PB	0,846	736	2905503	Caldeirão Grande	BA	0,885	776
2514503	São José de Piranhas	PB	0,848	737	2311405	Quixeramobim	CE	0,886	777
2513000	Salgadinho	PB	0,849	738	2408300	Nova Cruz	RN	0,886	778
2804607	Nossa Senhora das Dores	SE	0,849	739	2410009	Pilões	RN	0,887	779
2310704	Pentecoste	CE	0,850	740	2404309	Governador Dix-Sept Rosado	RN	0,888	780
2208205	Pio IX	PI	0,850	741	2502508	Boqueirão	PB	0,889	781
2303402	Carnaubal	CE	0,851	742	2313401	Tianguá	CE	0,889	782
2511301	Piancó	PB	0,852	743	2910859	Filadélfia	BA	0,889	783
2210102	São José do Peixe	PI	0,852	744	2917508	Jacobina	BA	0,889	784
2209351	Santana do Piauí	PI	0,853	745	2205003	Itainópolis	PI	0,891	785
2205151	Jacobina do Piauí	PI	0,854	746	2508109	Lagoa	PB	0,892	786
2202703	Cocal	PI	0,858	747	2905909	Campo Alegre de Lourdes	BA	0,894	787
2400406	Água Nova	RN	0,858	748	2700102	Água Branca	AL	0,896	788
2206654	Morro Cabeça no Tempo	PI	0,859	749	2504504	Condado	PB	0,897	789
2918753	Lagoa Real	BA	0,860	750	2603207	Caetés	PE	0,898	790
2508802	Malta	PB	0,861	751	2203909	Floriano	PI	0,902	791
2310902	Piquet Carneiro	CE	0,867	752	2509602	Monte Horebe	PB	0,902	792
2208650	Queimada Nova	PI	0,868	753	2930402	Serra Preta	BA	0,902	793
2904001	Boninal	BA	0,869	754	2909109	Coribe	BA	0,904	794
2510600	Ouro Velho	PB	0,872	755	2407807	Monte Alegre	RN	0,905	795
2906006	Campo Formoso	BA	0,872	756	2608701	Lagoa dos Gatos	PE	0,910	796
2408508	Ouro Branco	RN	0,873	757	2608750	Lagoa Grande	PE	0,911	797
2503704	Cajazeiras	PB	0,873	758	2414456	Triunfo Potiguar	RN	0,911	798
2202117	Campo Alegre do Fidalgo	PI	0,874	759	2702355	Craíbas	AL	0,911	799
2509800	Mulungu	PB	0,875	760	2201101	Avelino Lopes	PI	0,911	800

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (continuação).

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2614105	Sertânia	PE	0,912	801	2307403	Jucás	CE	0,970	841
2203602	Eliseu Martins	PI	0,914	802	2506251	Gado Bravo	PB	0,971	842
2304277	Ererê	CE	0,915	803	2502300	Bom Sucesso	PB	0,972	843
2513356	Santa Inês	PB	0,916	804	2502904	Brejo dos Santos	PB	0,972	844
2305902	Ipueiras	CE	0,916	805	2602803	Buíque	PE	0,973	845
2900405	Água Fria	BA	0,917	806	2911253	Gavião	BA	0,977	846
2202901	Corrente	PI	0,917	807	2401602	Bento Fernandes	RN	0,984	847
2601706	Belo Jardim	PE	0,919	808	2506509	Gurjão	PB	0,984	848
2205904	Manoel Emídio	PI	0,920	809	2906873	Capim Grosso	BA	0,986	849
2313104	Tabuleiro do Norte	CE	0,921	810	2202851	Coronel José Dias	PI	0,992	850
2614709	Tacaimbó	PE	0,921	811	2502409	Bonito de Santa Fé	PB	0,994	851
2509701	Monteiro	PB	0,921	812	2311702	Reriutaba	CE	0,994	852
2918704	Lafaiete Coutinho	BA	0,921	813	2921054	Matina	BA	0,996	853
2501575	Barra de Santana	PB	0,921	814	2403202	Doutor Severiano	RN	0,997	854
2513653	Joca Claudino	PB	0,922	815	2930204	Sento Sé	BA	0,999	855
2404002	Frutuoso Gomes	RN	0,926	816	2304004	Coreaú	CE	1,000	856
2413904	Taipu	RN	0,932	817	2211704	Wall Ferraz	PI	1,000	856
2807402	Tobias Barreto	SE	0,934	818	2610806	Pedra	PE	1,000	856
2505600	Diamante	PB	0,934	819	2311355	Quixelô	CE	1,000	856
2205565	Lagoa do Barro do Piauí	PI	0,934	820	2511608	Pilões	PB	1,000	856
2211357	Várzea Branca	PI	0,936	821	2926301	Riachão do Jacuípe	BA	1,000	856
2706422	Pariconha	AL	0,940	822	2513158	Santa Cecília	PB	1,000	856
2805406	Poço Redondo	SE	0,941	823	2302503	Brejo Santo	CE	1,000	856
2906857	Capela do Alto Alegre	BA	0,943	824	2510907	Paulista	PB	1,000	856
2206704	Nazaré do Piauí	PI	0,945	825	2920106	Mairi	BA	1,000	856
2210391	São Miguel do Fidalgo	PI	0,946	826	2805604	Porto da Folha	SE	1,000	856
2503308	Cachoeira dos Índios	PB	0,947	827	2929057	São Félix do Coribe	BA	1,000	856
2505303	Curral Velho	PB	0,948	828	2510006	Nazarezinho	PB	1,000	856
2200459	Alvorada do Gurguéia	PI	0,948	829	2302057	Barroquinha	CE	1,000	856
2513927	São Bentinho	PB	0,949	830	2801405	Carira	SE	1,000	856
2612604	Santa Maria da Boa Vista	PE	0,953	831	2403400	Equador	RN	1,000	856
2925931	Quixabeira	BA	0,954	832	2300606	Altaneira	CE	1,000	856
2307635	Madalena	CE	0,957	833	2502003	Belém do Brejo do Cruz	PB	1,000	856
2404408	Grossos	RN	0,959	834	2610202	Panelas	PE	1,000	856
2513505	Santana de Mangueira	PB	0,960	835	2305209	Hidrolândia	CE	1,000	856
2203354	Dirceu Arcoverde	PI	0,963	836	2202075	Cajazeiras do Piauí	PI	1,000	856
2513406	Santa Luzia	PB	0,965	837	2932002	Uauá	BA	1,000	856
2928406	Santa Rita de Cássia	BA	0,966	838	2308203	Meruoca	CE	1,000	856
2927101	Rodelas	BA	0,967	839	2923704	Paratinga	BA	1,000	856
2202729	Cocal dos Alves	PI	0,969	840	2704401	Major Isidoro	AL	1,000	856

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (continuação).

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2603108	Cachoeirinha	PE	1,000	856	2414506	Umarizal	RN	1,000	856
2513604	Santana dos Garrotes	PB	1,000	856	2914000	Ipirá	BA	1,000	856
2205524	Júlio Borges	PI	1,000	856	2203750	Fartura do Piauí	PI	1,000	856
2405504	Jardim de Angicos	RN	1,000	856	2930774	Sobradinho	BA	1,000	856
2210375	São Luis do Piauí	PI	1,000	856	2207355	Pajeú do Piauí	PI	1,000	856
2928208	Santana	BA	1,000	856	2401651	Bodó	RN	1,000	856
2404804	Ipueira	RN	1,000	856	2928109	Santa Maria da Vitória	BA	1,000	856
2931905	Tucano	BA	1,000	856	2903904	Bom Jesus da Lapa	BA	1,000	856
2501906	Belém	PB	1,000	856	2309904	Pacujá	CE	1,000	856
2516102	Soledade	PB	1,000	856	2928950	São Domingos	BA	1,000	856
2208874	Ribeira do Piauí	PI	1,000	856	2304236	Croatá	CE	1,000	856
2502151	Boa Vista	PB	1,000	856	2802304	Frei Paulo	SE	1,000	856
2516607	Tavares	PB	1,000	856	2903805	Boa Vista do Tupim	BA	1,000	856
2308005	Massapê	CE	1,000	856	2211506	Vera Mendes	PI	1,000	856
2304707	Granja	CE	1,000	856	2312304	São Benedito	CE	1,000	856
2801207	Canindé de São Francisco	SE	1,000	856	2507408	Jericó	PB	1,000	856
2506202	Frei Martinho	PB	1,000	856	2921609	Morpará	BA	1,000	856
2930600	Serrolândia	BA	1,000	856	2615805	Tupanatinga	PE	1,000	856
2706307	Palmeira dos Índios	AL	1,000	856	2403806	Florânia	RN	1,000	856
2907202	Casa Nova	BA	1,000	856	2307254	Jijoca de Jericoacoara	CE	1,000	856
2909406	Cotegipe	BA	1,000	856	2705408	Monteirópolis	AL	1,000	856
2402709	Cerro Corá	RN	1,000	856	2606507	Iati	PE	1,000	856
2607505	Itaíba	PE	1,000	856	2404853	Itajá	RN	1,000	856
2210409	São Miguel do Tapuio	PI	1,000	856	2515500	Serra Branca	PB	1,000	856
2600500	Águas Belas	PE	1,000	856	2928000	Santaluz	BA	1,000	856
2202604	Castelo do Piauí	PI	1,000	856	2602100	Bom Conselho	PE	1,000	856
2204907	Isaías Coelho	PI	1,000	856	2922730	Nova Fátima	BA	1,000	856
2403103	Currais Novos	RN	1,000	856	2508505	Livramento	PB	1,000	856
2413409	Serra Negra do Norte	RN	1,000	856	2919900	Macururé	BA	1,000	856
2208106	Pimenteiras	PI	1,000	856	2804706	Nossa Senhora de Lourdes	SE	1,000	856
2902658	Banzaê	BA	1,000	856	2301851	Banabuiú	CE	1,000	856
2203453	Dom Inocêncio	PI	1,000	856	2708006	Santana do Ipanema	AL	1,000	856
2923407	Palmas de Monte Alto	BA	1,000	856	2923803	Paripiranga	BA	1,000	856
2306900	Jaguaribe	CE	1,000	856	2312205	Santa Quitéria	CE	1,000	856
2309607	Pacajus	CE	1,000	856	2602407	Brejão	PE	1,000	856
2604155	Casinhas	PE	1,000	856	2306702	Jaguaretama	CE	1,000	856
2600609	Alagoinha	PE	1,000	856	2611101	Petrolina	PE	1,000	856
2308708	Morada Nova	CE	1,000	856	2703304	Inhapi	AL	1,000	856
2408805	Parazinho	RN	1,000	856	2307700	Maranguape	CE	1,000	856
2930303	Serra Dourada	BA	1,000	856	2917334	Iuiú	BA	1,000	856

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (continuação).

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2613909	Serra Talhada	PE	1,000	856	2904753	Buritirama	BA	1,000	856
2601607	Belém do São Francisco	PE	1,000	856	2405603	Jardim de Piranhas	RN	1,000	856
2517407	Zabelê	PB	1,000	856	2606705	Ibirajuba	PE	1,000	856
2304954	Guaiúba	CE	1,000	856	2613008	São Bento do Una	PE	1,000	856
2918407	Juazeiro	BA	1,000	856	2905107	Caém	BA	1,000	856
2313302	Tauá	CE	1,000	856	2201929	Bonfim do Piauí	PI	1,000	856
2409704	Pedro Avelino	RN	1,000	856	2312007	Santana do Acaraú	CE	1,000	856
2311009	Poranga	CE	1,000	856	2202026	Buriti dos Montes	PI	1,000	856
2924058	Pé de Serra	BA	1,000	856	2412401	São José do Seridó	RN	1,000	856
2926400	Riacho de Santana	BA	1,000	856	2306009	Iracema	CE	1,000	856
2901353	Andorinha	BA	1,000	856	2505501	Vista Serrana	PB	1,000	856
2612307	Saloá	PE	1,000	856	2202455	Capitão Gervásio Oliveira	PI	1,000	856
2309102	Mulungu	CE	1,000	856	2207603	Parnaguá	PI	1,000	856
2204105	Francisco Ayres	PI	1,000	856	2933109	Várzea do Poço	BA	1,000	856
2920403	Manoel Vitorino	BA	1,000	856	2926103	Retirolândia	BA	1,000	856
2516755	Tenório	PB	1,000	856	2409605	Pedra Preta	RN	1,000	856
2305233	Horizonte	CE	1,000	856	2311306	Quixadá	CE	1,000	856
2400802	Angicos	RN	1,000	856	2502706	Borborema	PB	1,000	856
2401305	Campo Grande	RN	1,000	856	2313807	Uruburetama	CE	1,000	856
2503753	Cajazeirinhas	PB	1,000	856	2411809	São Fernando	RN	1,000	856
2409100	Passa e Fica	RN	1,000	856	2901403	Angical	BA	1,000	856
2933307	Vitória da Conquista	BA	1,000	856	2904407	Brejolândia	BA	1,000	856
2609709	Orobó	PE	1,000	856	2403756	Fernando Pedroza	RN	1,000	856
2504108	Carrapateira	PB	1,000	856	2514651	São José do Brejo do Cruz	PB	1,000	856
2804508	Nossa Senhora da Glória	SE	1,000	856	2303659	Catunda	CE	1,000	856
2501534	Baraúna	PB	1,000	856	2514008	São João do Cariri	PB	1,000	856
2933455	Wanderley	BA	1,000	856	2513851	Santo André	PB	1,000	856
2406106	Jucurutu	RN	1,000	856	2603702	Canhotinho	PE	1,000	856
2608800	Lajedo	PE	1,000	856	2607406	Itacuruba	PE	1,000	856
2924652	Pintadas	BA	1,000	856	2613305	São Joaquim do Monte	PE	1,000	856
2307908	Martinópole	CE	1,000	856	2514602	São José do Bonfim	PB	1,000	856
2300507	Alcântaras	CE	1,000	856	2500536	Alcantil	PB	1,000	856
2902104	Araci	BA	1,000	856	2210359	São Lourenço do Piauí	PI	1,000	856
2511707	Pilõesinhos	PB	1,000	856	2403004	Cruzeta	RN	1,000	856
2514107	São João do Tigre	PB	1,000	856	2608008	Jataúba	PE	1,000	856
2504207	Catingueira	PB	1,000	856	2922250	Muquém de São Francisco	BA	1,000	856
2512788	Riacho de Santo Antônio	PB	1,000	856	2926608	Ribeira do Pombal	BA	1,000	856
2700300	Arapiraca	AL	1,000	856	2408003	Mossoró	RN	1,000	856
2201903	Bom Jesus	PI	1,000	856	2515203	São Sebastião do Umbuzeiro	PB	1,000	856
2926004	Remanso	BA	1,000	856	2302602	Camocim	CE	1,000	856

Tabela 24 – Ranking de Ecoeficiência dos Municípios no bioma Caatinga (conclusão).

DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank	DMU	Município	UF	Ecoeficiência	rank
2616001	Venturosa	PE	1,000	856	2303907	Chaval	CE	1,000	856
2911709	Guanambi	BA	1,000	856	2701605	Canapi	AL	1,000	856
2920809	Marcionílio Souza	BA	1,000	856	2304103	Crateús	CE	1,000	856
2411429	Santana do Seridó	RN	1,000	856	2906402	Candeal	BA	1,000	856
2926202	Riachão das Neves	BA	1,000	856	2502607	Igaracy	PB	1,000	856
2512101	Pombal	PB	1,000	856	2303105	Cariré	CE	1,000	856
2603504	Camocim de São Félix	PE	1,000	856	2203271	Curral Novo do Piauí	PI	1,000	856
2205516	Juazeiro do Piauí	PI	1,000	856	2615201	Terra Nova	PE	1,000	856
2407609	Messias Targino	RN	1,000	856	2207959	Nova Santa Rita	PI	1,000	856
2207900	Pedro II	PI	1,000	856	2909901	Curaçá	BA	1,000	856
2612455	Santa Cruz	PE	1,000	856	2407906	Monte das Gameleiras	RN	1,000	856
2401909	Caiçara do Rio do Vento	RN	1,000	856	2400109	Acari	RN	1,000	856
2911402	Glória	BA	1,000	856	2408706	Paraú	RN	1,000	856
2412104	São João do Sabugi	RN	1,000	856					
2408904	Parelhas	RN	1,000	856					
2700904	Belo Monte	AL	1,000	856					
2201556	Bela Vista do Piauí	PI	1,000	856					
2304608	General Sampaio	CE	1,000	856					
2908101	Cocos	BA	1,000	856					
2703403	Jacaré dos Homens	AL	1,000	856					
2504801	Coremas	PB	1,000	856					
2603801	Capoeiras	PE	1,000	856					
2509339	Matinhas	PB	1,000	856					
2201919	Bom Princípio do Piauí	PI	1,000	856					
2314102	Viçosa do Ceará	CE	1,000	856					
2410256	Porto do Mangue	RN	1,000	856					
2414902	Viçosa	RN	1,000	856					
2308351	Milhã	CE	1,000	856					
2410702	Riacho da Cruz	RN	1,000	856					
2406809	Lajes Pintadas	RN	1,000	856					
2612000	Sairé	PE	1,000	856					
2303709	Caucaia	CE	1,000	856					
2402006	Caicó	RN	1,000	856					
2404903	Itaú	RN	1,000	856					
2903201	Barreiras	BA	1,000	856					
2206357	Milton Brandão	PI	1,000	856					
2308377	Miraíma	CE	1,000	856					
2201051	Assunção do Piauí	PI	1,000	856					
2910800	Feira de Santana	BA	1,000	856					
2615409	Toritama	PE	1,000	856					

Fonte: Elaboração própria.