



GUSTAVO ALVES DE MELO

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO
DE CAFÉ ENTRE AS PRINCIPAIS REGIÕES BRASILEIRAS**

**LAVRAS-MG
2023**

GUSTAVO ALVES DE MELO

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE CAFÉ ENTRE
AS PRINCIPAIS REGIÕES BRASILEIRAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Administração, área de concentração em Estratégia de Negócios Globais e Finanças Corporativas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Luiz Gonzaga de Castro Júnior
Orientador

Prof (a). Dr (a). Maria Gabriela Mendonça Peixoto
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Melo, Gustavo Alves de.

Análise comparativa da eficiência na produção de café entre as principais regiões brasileiras / Gustavo Alves de Melo. - 2023.

121 p. : il.

Orientador(a): Luiz Gonzaga de Castro Junior.

Coorientador(a): Maria Gabriela Mendonça Peixoto, Jaqueline Severino da Costa, Samuel Borges Barbosa.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Agronegócio. 2. Cafeicultura. 3. Indicadores de desempenho. I. Castro Junior, Luiz Gonzaga de. II. Peixoto, Maria Gabriela Mendonça. III. Costa, Jaqueline Severino da. IV. Barbosa, Samuel Borges. V. Título.

GUSTAVO ALVES DE MELO

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE CAFÉ ENTRE
AS PRINCIPAIS REGIÕES BRASILEIRAS**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF COFFEE PRODUCTION EFFICIENCY BETWEEN
THE MAIN BRAZILIAN REGIONS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Administração, área de concentração em Estratégia de Negócios Globais e Finanças Corporativas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 16 de fevereiro de 2023.

Dra. Jaqueline Severino da Costa UFLA

Dr. Samuel Borges Barbosa UFV/CRP

Prof. Dr. Luiz Gonzaga de Castro Júnior
Orientador

Prof.^a Dra. Maria Gabriela Mendonça Peixoto
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2023**

Aos meus pais, avó, irmã e sobrinha

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus pela força e saúde concedida mesmo nos momentos difíceis.

Aos meus pais pelo companheirismo e suporte em toda minha trajetória de vida.

Aos meus demais familiares pela confiança e apoio depositados em mim na conquista de meus objetivos.

Aos meus colegas pela parceria, apoio e amizade construídos nessa etapa de trabalho.

Aos meus professores, em especial, ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Gonzaga de Castro Júnior e a minha coorientadora Prof.^a Dra. Maria Gabriela Mendonça Peixoto por sempre estarem disponíveis ao diálogo nos momentos de dúvida e pela parceria construída nesse período.

Ao Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGA-UFLA) pelo conhecimento compartilhado e apoio de infraestrutura concedidos, fundamentais para meu desenvolvimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Muito obrigado!

“O importante é não parar de questionar.” (Albert Einstein)

RESUMO

O agronegócio representa um dos pilares da economia brasileira, de modo que o café é um produto que contribui com grande expressividade para o bom desempenho do setor. A produção de café no Brasil se divide em dois tipos, o Arábica e o *Conilon*. Na produção do café Arábica se destaca as regiões de Minas Gerais, Espírito Santo, Paraná, São Paulo e Bahia, já no *Conilon* se destaca as regiões de Rondônia, Bahia e Espírito Santo. Todavia, o cenário de produção tem sofrido mudanças nos últimos anos, acompanhando os impactos decorrentes de eventos climáticos indesejáveis. Frente a isso, o objetivo desta dissertação foi avaliar o desempenho das principais regiões produtoras de cafés Arábica e *Conilon* do Brasil nos anos safra de 2018-2019 e 2020-2021, através da aplicação das técnicas Análise de Componentes Principais (*PCA*) e Análise Envoltória de Dados (*DEA*). Para tanto, o estudo prezou pela utilização de uma abordagem híbrida, com a utilização de técnicas quantitativas e análises qualitativas complementares. O estudo também apresentou um caráter descritivo e seguiu a lógica indutiva. O horizonte de realização deste foi de 12 meses para a integralização de todas as etapas metodológicas. Logo, os resultados apontaram para o ano safra 2018-2019, a presença de 4 *inputs* (*Qtd_M*, *Tam_prop*, *Agua_cons* e *Area_cafe*) e 1 *output* (*Rend_prop*) e 21 *inliers* no conjunto amostral. Já para o ano safra 2020-2021 foram considerados 3 *inputs* (*Area_cafe*, *Cred_financ* e *QtdInsum_prod*) e 3 *outputs* (*AdOrgan_prod*, *Rend_prop* e *Rend_tec*) e 23 *inliers*. Em relação às eficiências, foram identificados 6 produtores ineficientes para 2018-2019 e 9 para 2020-2021. As variáveis *Qtd_M* e *Rend_prop* foram mais impactantes para a eficiência em 2018-2019, já para 2020-2021 as variáveis *Cred_financ*, *QtdInsum_prod*, *Rend_tec* e *AdOrgan_prod* foram mais impactantes. Se tratando das limitações existentes, estas estiveram relacionadas ao pesquisador na escolha de etapas metodológicas para o melhor ajuste e apresentação de resultados, a utilização de uma base estritamente financeira para complementar a coleta de dados referente ao projeto Campo Futuro do CIM/UFLA e à restrição metodológica de que o número de *DMUs* deve ser três vezes superior que o número de variáveis originais selecionadas para a aplicação da técnica *DEA*. A fim de propor uma agenda de estudos futuros, sugere-se a replicação deste estudo para outras culturas, a ampliação do conjunto amostral a fim de aumentar a quantidade de variáveis originais consideradas, a aplicação e combinação de novas técnicas como a Modelagem de Equações Estruturais (*MEE*), bem como um estudo mais detalhado sobre a eficiência de cada região produtora e seus respectivos *benchmarks*.

Palavras-chave: Agronegócio, Indicadores de desempenho, Cafeicultura, Produtividade, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Agribusiness represents one of the pillars of the Brazilian economy, so that coffee is a product that contributes significantly to the good performance of the sector. Coffee production in Brazil is divided into two types, Arabica and Conilon. In the production of Arabica coffee, the regions of Minas Gerais, Espírito Santo, Paraná, São Paulo and Bahia stand out, while in Conilon the regions of Rondônia, Bahia and Espírito Santo stand out. However, the production scenario has undergone changes in recent years, following the impacts of undesirable weather events. In view of this, the objective of this dissertation was to evaluate the performance of the main producing regions of Arabica and Conilon coffees in Brazil in the 2018-2019 and 2020-2021 harvest years, through the application of Principal Component Analysis (PCA) and Envelopment Analysis techniques of data (DEA). Therefore, the study valued the use of a hybrid approach, with the use of quantitative techniques and complementary qualitative analysis. The study also presented a descriptive character and followed the inductive logic. The completion horizon of this was 12 months for the completion of all methodological steps. Therefore, the results pointed to the presence of 4 inputs (Qty_M, Size_prop, Water_cons and Area_cafe) and 1 output (Rend_prop) for the 2018-2019 crop year, and 21 inliers in the sample set. For the 2020-2021 harvest year, 3 inputs (Area_cafe, Cred_finance and QtdInsum_prod) and 3 outputs (AdOrgan_prod, Rend_prop and Rend_tec) and 23 inliers were considered. Regarding efficiencies, 6 inefficient producers were identified for 2018-2019 and 9 for 2020-2021. The Qtd_M and Rend_prop variables had the most impact on efficiency in 2018-2019, while for 2020-2021 the Cred_financ, QtdInsum_prod, Rend_tec and AdOrgan_prod variables had the most impact. As for the existing limitations, these were related to the researcher's choice of methodological steps for the best adjustment and presentation of results, the use of a strictly financial basis to complement the data collection referring to the Campo Futuro project of CIM/UFLA and the restriction methodological principle that the number of DMUs must be three times greater than the number of original variables selected for the application of the DEA technique. In order to propose an agenda for future studies, it is suggested the replication of this study for other cultures, the expansion of the sample set in order to increase the number of original variables considered, the application and combination of new techniques such as Structural Equation Modeling (SEM), as well as a more detailed study on the efficiency of each producing region and their respective benchmarkings.

Keywords: Agribusiness, Performance indicators, Coffee growing, Productivity, Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo sistêmico de produção.....	25
Figura 2 – Retornos crescentes, constantes e decrescentes de escala.....	28
Figura 3 – Modelo de eficiência orientado a insumo e a produto.....	35
Figura 4 – As 12 principais regiões produtoras de café no Brasil.....	46
Gráfico 1 – Eficiência dos produtores considerando o ano safra de 2018-2019.....	63
Gráfico 2 – Eficiência dos produtores considerando o ano safra de 2020-2021.....	66
Gráfico 3 – Alvos para o indicador de desempenho “Quantidade de mulheres”.....	68
Gráfico 4 – Alvos para o indicador de desempenho “Tamanho total da propriedade”.....	70
Gráfico 5 – Alvos para o indicador de desempenho “Volume de água consumida”.....	71
Gráfico 6 – Alvos para o indicador de desempenho “Área total de terra disponível para cultivo”	72
Gráfico 7 – Alvos para o indicador de desempenho “Renda anual da propriedade por safra”.....	74
Gráfico 8 – Alvos para o indicador de desempenho “Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito”.....	75
Gráfico 9 – Alvos para o indicador de desempenho “Área total de terra disponível para cultivo”.....	77
Gráfico 10 – Alvos para o indicador de desempenho “Quantidade de insumos utilizada por saca produzida”.....	78
Gráfico 11 – Alvos para o indicador de desempenho “Renda anual gasta em investimento em tecnologia”.....	80
Gráfico 12 – Alvos para o indicador de desempenho “Quantidade de adubo orgânico produzido”.....	82
Gráfico 13 – Alvos para o indicador de desempenho “Renda anual da propriedade por safra”.....	83
Gráfico 14 – Escores e autovetores das componentes I e II relativos as 4 dimensões de desempenho no ano safra de 2018-2019.....	90
Gráfico 15 – Escores e autovetores das componentes II e III relativos as 4 dimensões de desempenho no ano safra de 2018-2019.....	92
Gráfico 16 – Escores e autovetores das componentes I e II relativos as 3 dimensões de desempenho no ano safra de 2020-2021.....	97
Gráfico 17 – Escores e autovetores das componentes II e III relativos as 3 dimensões de desempenho no ano safra de 2020-2021.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios para os <i>inputs</i> e <i>output</i> em função do tipo de produtor considerando o ano safra de 2018-2019.....	48
Tabela 2 – Valores médios para os <i>inputs</i> e <i>outputs</i> em função do tipo de produtor considerando o ano safra de 2020-2021.....	49
Tabela 3 – Relação dos autovetores (\hat{e}) e das correlações (r) entre as componentes principais I, II e III e as variáveis originais selecionadas considerando o ano safra de 2018-2019.....	51
Tabela 4 – Relação dos autovetores (\hat{e}) e das correlações (r) entre as componentes principais I, II e III e as variáveis originais selecionadas considerando o ano safra de 2020-2021.....	52
Tabela 5 – Variáveis altamente correlacionadas às componentes principais 1, 2 e 3 considerando o ano safra de 2018-2019.....	53
Tabela 6 – Correlação entre as variáveis originais selecionadas para a aplicação da <i>DEA</i> considerando o ano safra de 2018-2019.....	54
Tabela 7 – Seleção de <i>inputs</i> e <i>output</i> para a aplicação da <i>DEA</i> considerando o ano safra de 2018-2019.....	54
Tabela 8 – Variáveis altamente correlacionadas às componentes principais 1, 2 e 3 considerando o ano safra de 2020-2021.....	55
Tabela 9 – Correlação entre as variáveis originais selecionadas para a aplicação da <i>DEA</i> considerando o ano safra de 2020-2021.....	56
Tabela 10 – Seleção de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> para a aplicação da <i>DEA</i> considerando o ano safra de 2020-2021.....	57
Tabela 11 – Valores médios das características referentes aos grupos compostos pelos produtores <i>inliers</i> e <i>outliers</i> considerando o ano safra de 2018-2019.....	60
Tabela 12 – Valores médios das características referentes aos grupos compostos pelos produtores <i>inliers</i> e <i>outliers</i> considerando o ano safra de 2020-2021.....	61
Tabela 13 – Valores médios dos <i>inputs</i> e do <i>output</i> para os grupos formados a partir dos escores de eficiência considerando o ano safra de 2018-2019.....	62
Tabela 14 – Valores médios dos <i>inputs</i> e dos <i>outputs</i> para os grupos formados a partir dos escores de eficiência considerando o ano safra de 2020-2021.....	64
Tabela 15 – Relação dos autovetores (\hat{e}) e das correlações café entre as componentes principais I, II e III e os <i>inputs</i> e <i>output</i> considerando o ano safra de 2018-2019.....	85
Tabela 16 – Escores das três primeiras componentes principais para os <i>inputs</i> e <i>output</i> dos produtores considerando o ano safra de 2018-2019.....	88
Tabela 17 – Relação dos autovetores (\hat{e}) e das correlações (r) entre as componentes principais I, II e III e os <i>inputs</i> e <i>outputs</i> considerando o ano safra de 2020-2021.....	93
Tabela 18 – Escores das três primeiras componentes principais para os <i>inputs</i> e <i>outputs</i> dos produtores considerando o ano safra de 2020-2021.....	96
Tabela 19 – Comparativo entre os escores obtidos pela aplicação da <i>DEA</i> e da <i>PCA</i> no ano safra de 2018-2019.....	102
Tabela 20 – Comparativo entre os escores obtidos pela aplicação da <i>DEA</i> e da <i>PCA</i> no ano safra de 2020-2021.....	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Artigos pesquisados relacionados ao tema da dissertação.....	29
Quadro 2 – Indicadores de desempenho relacionados as dimensões “Demográfica”, “Socioeconômica”, “Agrícola”, “Certificação” e “Economia Circular”.....	39
Quadro 3 – Índices de desempenho global gerados a partir das variáveis altamente correlacionadas com CP1, CP2 e CP3 considerando o ano safra de 2018-2019.....	58
Quadro 4 – Índices de desempenho global gerados a partir das variáveis altamente correlacionadas com CP1, CP2 e CP3 considerando o ano safra de 2020-2021.....	59

LISTA DE SIGLAS

ABC+	Programa para a Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária
ABIC	Associação Brasileira da Indústria de Café
BCC	<i>Banker, Charnes e Cooper</i>
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
CECAFE	Conselho de Exportadores de Café do Brasil
CIM/UFLA Lavras	Centro de Inteligência em Gestão e Mercados/Universidade Federal de Lavras
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CP1	Componente Principal 1
CP2	Componente Principal 2
CP3	Componente Principal 3
CRS	<i>Constant Returns to Scale</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
EXPOCACCER	Cooperativa dos Cafeicultores do Cerrado
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FUNCAFÉ	Programa de defesa da economia cafeeira
ICO	<i>International Coffee Organization</i>
INOVAGRO	Programa de incentivo à inovação tecnológica
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MEE	Modelagem de Equações Estruturais
NIRS	<i>Non-Increasing Returns to Scale</i>
PCA	<i>Principal Components Analysis</i>
PCS	Programa Cafés Sustentáveis do Brasil
PIB	Produto Interno Bruto
PQC	Programa de Qualidade do Café
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura
PRONAMP	Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor
SEAPA	Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
VRS	<i>Variable Returns to Scale</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Problema de pesquisa, objetivos geral e específicos.....	17
1.2	Justificativa.....	18
1.3	Estrutura da dissertação.....	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1	Produção de cafés tipo Arábica e <i>Conilon</i> no Brasil.....	21
2.2	Referencial Teórico: Gestão por desempenho.....	24
2.3	Teoria da produção da firma.....	27
2.4	Revisão de literatura.....	28
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	32
3.1	Técnicas de análise de dados: Análise de Componentes Principais (<i>PCA</i>) e Análise Envoltória de Dados (<i>DEA</i>).....	32
3.1.1	Análise de Componentes Principais (<i>PCA</i>).....	32
3.1.2	Análise Envoltória de Dados (<i>DEA</i>).....	34
3.2	Aplicação dos métodos.....	38
3.2.1	Tipo de Pesquisa.....	42
3.2.2	Objeto de estudo e Amostragem.....	43
3.2.3	Procedimentos e técnicas de coleta de dados.....	45
3.2.4	Análise e interpretação dos dados.....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1	Contextualização dos produtores que compõe o campo amostral referente as 12 principais regiões produtoras de café no Brasil.....	48
4.2	Análise de Componentes Principais (<i>PCA</i>).....	50
4.3	Seleção e classificação das variáveis em <i>inputs</i> e <i>outputs</i> e construção dos índices de desempenho global para a medição de desempenho das propriedades.....	52
4.4	Análise Envoltória de Dados (<i>DEA</i>).....	59
4.4.1	Análise da eficiência técnica pura por meio da aplicação do modelo <i>Superefficiency</i> de <i>Banker</i> e <i>Chang</i> com orientação ao <i>output</i>	60

4.4.2	Síntese dos alvos para os inputs e outputs resultantes da aplicação do modelo <i>Superefficiency</i> com orientação ao <i>output</i>	67
4.4.2.1	Índices de desempenho global considerando o ano safra de 2018-2019.....	67
4.4.2.1.1	Índice de desempenho global resultante do <i>input</i> “Quantidade de mulheres”	67
4.4.2.1.2	Índice de desempenho global resultante da combinação dos <i>inputs</i> “Tamanho total da propriedade” e “Volume de água consumida”.....	69
4.4.2.1.3	Índice de desempenho global resultante do <i>input</i> “Área total de terra disponível para cultivo”.....	72
4.4.2.1.4	Índice de desempenho global resultante do <i>output</i> “Renda anual da propriedade por safra”.....	73
4.4.2.2	Índices de desempenho global considerando o ano safra de 2020-2021.....	75
4.4.2.2.1	Índice de desempenho global resultante do <i>input</i> “Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito”.....	75
4.4.2.2.2	Índice de desempenho global resultante do <i>input</i> “Área total de terra disponível para cultivo”.....	76
4.4.2.2.3	Índice de desempenho global resultante do <i>input</i> “Quantidade de insumos utilizada por saca produzida”.....	78
4.4.2.2.4	Índice de desempenho global resultante do <i>output</i> “Renda anual gasta em investimento em tecnologia”.....	79
4.4.2.2.5	Índice de desempenho global resultante do <i>output</i> “Quantidade de adubo orgânico produzido”.....	81
4.4.2.2.6	Índice de desempenho global resultante do <i>output</i> “Renda anual da propriedade por safra”.....	83
4.5	Reaplicação da análise de componentes principais.....	84
4.5.1	Análise de Componentes Principais aplicada às propriedades produtoras de café a partir de inputs e de outputs definidos para a análise envoltória de dados para o ano safra de 2018-2019.....	85

4.5.2	Análise de Componentes Principais aplicada às propriedades produtoras de café a partir de <i>inputs</i> e de <i>outputs</i> definidos para a análise envoltória de dados para o ano safra de 2020-2021.....	93
4.6	Análise complementar e comparativa entre os resultados obtidos a partir da aplicação da análise de componentes principais e da análise envoltória de dados.....	102
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	109
	REFERÊNCIAS	
	APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PRODUTORES	

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio constitui uma das bases da economia do Brasil, e é responsável por mais da metade das exportações realizadas no país (CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL - CNA, 2022). Além disso, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020), o agronegócio é responsável por aproximadamente 26% do produto interno bruto (PIB) nacional. Isto se deve principalmente aos investimentos que têm sido desenvolvidos em ciência e tecnologia no campo (MAPA, 2020). Dessa forma, o agronegócio tem experimentado uma era de transformação digital associada ao desenvolvimento de novas técnicas de produção de insumos para a alavancagem de produtividade (MAPA, 2020; CNA, 2022).

Neste contexto, o clima tropical favorável associado a crescente demanda de produção para a satisfação do mercado externo faz com que o país exerça uma posição de destaque no comércio das principais *commodities* (COOPERATIVA DOS CAFEICULTORES DO CERRADO - EXPOCACCER, 2020). Frente a isso, o país é uma referência mundial na produção de café, por exemplo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ - ABIC, 2020). De acordo com a EXPOCACCER (2020), a cafeicultura brasileira abrange cerca de 2 milhões de hectares e mais de 300 mil produtores localizados em mais de 1900 municípios. Além disso, a produção se divide entre cafés do tipo Arábica e *Conilon* e se encontram na maior parte (cerca de 85%) distribuídos nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Bahia.

No entanto, vale ressaltar os desafios enfrentados pela cafeicultura nos últimos anos relacionados ao contexto econômico, ambiental e sanitário (CNA, 2022). Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Café (ABIC, 2020) o cenário marcado por eventos climáticos indesejáveis impactou negativamente a produtividade de cafezais em algumas regiões do país. Além disso, questões econômicas aumentaram as tensões no mercado nacional, com a alta de juros, inflação, supervalorização de insumos, entre outros fatores (CNA, 2022).

Por outro lado, as exportações no país têm significado uma garantia de preços aos produtores (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ - ABIC, 2020). No plano sustentável, é notável o crescimento do interesse do consumidor sobre aspectos de produção agroecológica bem como sobre as etapas de processamento do café a partir da rastreabilidade do produto (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE, 2020; RAINFOREST ALLIANCE CERTIFICATION, 2020). Frente a isso, adotar padrões sustentáveis de produção em sistemas produtivos de café tem sido um

fator determinante para as vendas de cafés em mercados internacionais (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO, 2020; SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - SEAPA, 2020).

1.1 Problema de pesquisa, objetivos geral e específicos

Em um contexto recente, pesquisas tem avançado sobre questões relacionadas a ampliação de desempenho nas organizações do setor alimentício (WINTER et al., 2020; AVRAAMIDOU et al., 2020; LA SCALIA et al., 2021; BELLIDO-ARCAS et al., 2021; DUAN et al., 2021; RIAÑO-CALDERÓN et al., 2021; HEIDENREICH et al., 2022; JIMÉNEZ-ORTEGA et al., 2022). Isto se deve à crescente demanda por alimentos em diferentes regiões do mundo, o que tem gerado discussões acerca da produtividade no agronegócio (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2022). Além disso, a pandemia por Covid-19 contribuiu em parte para agravar esta situação, impondo barreiras físicas para o escoamento da produção de alimentos e fluxo de pessoas (SARKODIE; OWUSU, 2021; CHOFREH et al., 2021).

Ademais, o início de uma guerra entre a Rússia e a Ucrânia no ano de 2022 aumentou as tensões sobre o contexto de produção agrícola, uma vez que o bloqueio de portos ucranianos utilizados para o escoamento da produção tem sido alvos constantes do governo russo (PROSEKOV; IVANOVA, 2018; BEHNASSI; HAIBA, 2022). Por um lado, a Ucrânia caracteriza-se como um dos grandes produtores de trigo mundiais, do outro, a Rússia é um dos grandes fornecedores de fertilizantes para diversas regiões do mundo, sendo o Brasil um dos grandes beneficiados (PROSEKOV; IVANOVA, 2018). Frente a isso, a alta desses insumos vinculada a inflação tem reduzido o poder de compra e financiamento dos produtores de alimentos, inclusive os produtores de café (CNA, 2022).

Neste sentido, é importante que medidas no sentido de intensificar a produtividade de sistemas agroalimentares sejam tomadas (CNA, 2022). Entretanto, também é necessário que tais medidas contemplem aspectos de conservação e preservação ambiental (AVRAAMIDOU et al., 2020; FERNÁNDEZ-CORTÉS et al., 2020; VAN KEULEN; KIRCHHERR, 2020). No âmbito da produção cafeeira, os resíduos gerados na produção do café representam 95% do peso total deste, sendo apenas 5% destinado para a preparação da bebida (EXPOCACCER, 2020). Dentre os resíduos gerados, a casca do café corresponde a 30% do fruto, além de apresentar o maior valor nutritivo comparado aos 70% restantes (SEAPA, 2020).

A demanda de produção de café no Brasil tem crescido nos últimos anos bem como a comercialização do produto no mercado internacional (VOLSI et al., 2019; COSTA, 2020; ICO, 2020; SEBRAE, 2020). Além disso, o interesse de consumidores sobre padrões de produção mais sustentáveis também é uma realidade para o mercado internacional de café (EXPOCACCER, 2020). No entanto, o país tem experimentado oscilações de produtividade nos últimos anos em razão de aspectos relacionados às questões climáticas e crise econômica e sanitária (CNA, 2022).

Desta forma, o estudo alia aspectos de produção sustentável e gestão de desempenho para a avaliação das principais regiões produtoras de cafés Arábica e *Conilon* no Brasil segundo a classificação do Centro de Inteligência em Gestão e Mercados (CIM/UFLA). Busca-se a partir deste estudo responder as seguintes questões: Quais as variáveis mais impactantes no desempenho das principais regiões produtoras de cafés do tipo Arábica e *Conilon* no Brasil? Qual o desempenho destas regiões no âmbito sustentável de produção?

Desta maneira, o objetivo geral do estudo foi avaliar o desempenho das principais regiões produtoras de cafés Arábica e *Conilon* do Brasil nos anos safra de 2018-2019 e 2020-2021, através da aplicação das técnicas Análise de Componentes Principais (*PCA*) e Análise Envoltória de Dados (*DEA*). Para o alcance deste objetivo geral, consideram-se os seguintes objetivos específicos:

- Contextualizar as principais regiões produtoras de cafés do tipo Arábica e *Conilon* no Brasil segundo a classificação do Centro de Inteligência em Gestão e Mercados (CIM/UFLA);
- Selecionar *inputs* e *outputs* e gerar indicadores de desempenho globais, a partir da primeira, segunda e terceira componentes principais;
- Medir a eficiência técnica pura, por meio do apoio em indicadores de desempenho, tendo como recorte o uso de dados referentes aos anos safra de 2018-2019 e 2020-2021;
- Realizar um comparativo entre os resultados das técnicas, análise de componentes principais (*PCA*) e análise envoltória de dados (*DEA*) com base nos anos safra de 2018-2019 e 2020-2021;
- Discutir e propor eventuais alternativas na tentativa de contribuir com o aumento do desempenho das regiões produtoras, considerando sua estrutura, recursos disponíveis e plano sustentável.

1.2 Justificativa

O café representa um dos cultivos de maior importância para o mercado internacional de grãos (COSTA, 2020; EXPOCACCER, 2020). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020) a produção nacional de café do tipo Arábica atingiu o patamar de 47,4 milhões de sacas em 2020. De acordo com a EXPOCACCER (2020), a altitude, solo, relevo e microclima são características favoráveis para o cultivo de café no Brasil. No que corresponde à produção de café do tipo *Conilon*, segundo a CONAB (2020) as condições climáticas no estado do Espírito Santo impactaram negativamente a produção no ano de 2019, reduzindo em 5,1% o total previsto.

Além disso, a mudança nos perfis de consumo do café tem contribuído para que os produtores elevem a qualidade do produto ofertado a partir da produção de cafés certificados (EXPOCACCER, 2020). Dessa maneira, os produtores têm condições para alavancar suas vendas agregando maior valor ao produto (RAINFOREST ALLIANCE CERTIFICATION, 2020; SEBRAE, 2020). Cabe lembrar que atualmente o fechamento de acordos comerciais de café depende muitas vezes de questões relacionadas à sua origem e padrões de produção sustentáveis (CERRADO MINEIRO, 2020; EXPOCACCER, 2020).

A influência das mudanças climáticas na produção da *commodity*, segundo a EXPOCACCER (2020), em 2019 implica uma redução de aproximadamente 24% na produção de café em Minas Gerais em razão da ocorrência de períodos de seca intensos no verão e de geadas que queimaram as partes superficiais dos cafezais. Ainda conforme a EXPOCACCER (2020), em São Paulo foi observado uma redução de 30% para o mesmo período. Vale ressaltar a dependência térmica da planta para a manutenção de bons padrões de qualidade e quantidade de produção, haja vista que em temperaturas muito elevadas há a queima das flores e perda de produtividade por exemplo. Além disso, cabe destacar o impacto destas mudanças do clima na redução de agentes polinizadores. Segundo Giannini et al. (2017), estima-se que no Brasil haverá uma redução de até 13% destes até o ano de 2050, sendo o café o terceiro produto mais impactado com a redução, com até 15% de probabilidade de queda destes agentes.

Frente a isso, a gestão de desempenho a partir de técnicas quantitativas e da manipulação de indicadores de desempenho são importantes para o alinhamento das estratégias dos produtores de café e melhor planejamento destes (COSTA, 2020). O conhecimento e gestão efetiva dos custos de produção também contribuem para que estes se firmem no mercado (VEGRO; DE ALMEIDA, 2020). Desse modo, analisar o desempenho das principais regiões produtoras de cafés Arábica e *Conilon*, e sobretudo, considerando a influência de implantação de padrões sustentáveis de produção, eventos climáticos, bem como da crise econômica e

sanitária enunciada pela Covid-19, torna-se pertinente para o entendimento das variáveis mais impactantes na comercialização do café (SILVA et al., 2018).

Vale ressaltar que a incorporação de processos de gestão de desempenho na produção de café no Brasil tem crescido e, sobretudo, os estudos que contemplam essa abordagem representam uma grande contribuição para a economia do país (JEZEER et al., 2018; RAHN et al., 2018; HO et al., 2018; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ - ABIC, 2020; EXPOCACCER, 2020; CERRADO MINEIRO, 2020; TRAN et al., 2021; BELLIDO-ARCAS et al., 2021). Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Café (ABIC, 2020) as exportações de café do Brasil cresceram 5,7% de janeiro à novembro de 2020 em relação ao mesmo período de 2019, o que corresponde a uma receita de US\$ 542 milhões, 32,3% superior ao período de janeiro à novembro de 2019.

Além disso, a inclusão da sustentabilidade a partir da economia circular em análises de desempenho é um tema atual, pertinente e totalmente aplicável em diferentes contextos, inclusive na cafeicultura (JEZEER et al., 2018; HO et al., 2018; AVRAAMIDOU et al., 2020; BELLIDO-ARCAS et al., 2021). Assim, a incorporação de padrões sustentáveis no agronegócio e em especial no cultivo do café a partir da reutilização de resíduos gerados na produção representa uma oportunidade para o aumento de produtividade, redução de impactos ambientais e custos de produção, por exemplo (SILVA et al., 2018; AVRAAMIDOU et al., 2020; FERNÁNDEZ-CORTÉS et al., 2020; VAN KEULEN; KIRCHHERR, 2020).

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma: a primeira seção é composta por uma contextualização introdutória sobre a produção de cafés do tipo Arábica e *Conilon* no Brasil, o problema de pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos e, por fim, a justificativa do estudo. A segunda seção dedicou-se a apresentação da revisão bibliográfica de estudo. Em seguida a seção 3 foi composta pelos procedimentos metodológicos, onde foram abordados o tipo de pesquisa, o objeto de estudo e amostragem, os procedimentos e técnicas de coleta de dados e, por fim, como foi realizada a análise e interpretação destes dados. Na quarta seção foram contemplados os resultados e discussão, e na última seção a conclusão seguida das referências e apêndice.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção se dedica a apresentação teórica de temas relacionados ao estudo.

2.1 Produção de cafés tipo *Arábica* e *Conilon* no Brasil

O café representa uma das principais *commodities* no agronegócio brasileiro, de modo que isoladamente este tem alcançado boa parte do montante arrecadado no setor anualmente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ - ABIC, 2020; EXPOCACCER, 2020). Além disso, fatores externos à produção do grão como mudanças climáticas, crises econômicas, falta de insumos e redução da mão de obra, podem influenciar diretamente na comercialização do produto, causando variação dos preços pagos e recebidos pelos produtores no mercado nacional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ - ABIC, 2020). Frente a isso, muitos produtores a fim de aumentarem seus lucros e/ou reduzir suas perdas na cafeicultura têm buscado por melhores oportunidades de comercialização do seu produto no mercado externo (EXPOCACCER, 2020).

No entanto, a prática da exportação do café exige que os produtores elevem o padrão de qualidade de seus produtos (ICO, 2020). Frente a isso, estes recorrem a investimentos em diferentes locais de sua propriedade a fim de alcançar a excelência de produção requerida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ - ABIC, 2020). Dentre as medidas tomadas pelos produtores se encontra a gestão efetiva dos custos de produção (JEZEER et al., 2018; BULGA et al., 2020). A partir disso, os produtores tem condições para a realização de planejamentos de vendas futuras e expansão em mercados diferenciados de forma segura e rentável (ICO, 2020). Além disso, o custo associado ao investimento para montagem e manutenção dos cafezais torna-se um componente relevante do custo do produto, já as receitas ocorrem apenas com o fechamento de cada safra (VEGRO; DE ALMEIDA, 2020). Dito isso, os produtores recorrem a capital de giro próprio ou de terceiros a fim de garantir o andamento de seus negócios (EXPOCACCER, 2020; VEGRO; DE ALMEIDA, 2020).

Cabe lembrar a importância da certificação neste contexto como instrumento facilitador para a comercialização do produto. Dessa forma, existem diferentes categorias para a classificação do café (ICO, 2020; SEBRAE, 2020). Além disso, a utilização de certificações estabelece relações de confiança mais fortes entre produtores e consumidores, pois a presença de selos no produto garante que este reúne os atributos mínimos de qualidade exigidos pela certificação (ICO, 2020; SEBRAE, 2020). Dessa forma, o consumo de cafés certificados tem

se estendido ao público leigo, que não reconhece todas as características da bebida ao consumi-la, mas que confia na qualidade do produto por ser certificado (ICO, 2020; SEBRAE, 2020).

Frente a isso, apesar dos custos para a obtenção de uma certificação, os produtores têm a visto como um caminho promissor para a ampliação de suas vendas, reconhecimento de suas marcas e estabelecimento em mercados (SEBRAE, 2020). Dentre os tipos de categorias de certificação existentes há o café *gourmet*, o café de origem certificada, o café orgânico e o café *fair trade* (ICO, 2020; SEBRAE, 2020). Dessa maneira, com o intuito de facilitar a comercialização do produto existem diferentes cooperativas que visam aumentar os padrões de qualidade e visibilidade de seus cooperados a partir da padronização de processos e certificações do produto (COSTA, 2020).

Ademais, observa-se uma tendência na consideração de aspectos sustentáveis em diferentes setores da economia bem como um movimento da população para o consumo de alimentos mais saudáveis (SILVA et al., 2018; AVRAAMIDOU et al., 2020). Dessa maneira, a sustentabilidade tem sido incorporada à produção de café através da redução e/ou substituição do uso de agroquímicos e reutilização de resíduos gerados no beneficiamento do produto na produção de novos bioprodutos, por exemplo (ICO, 2020).

No que se refere à produção de cafés a partir de padrões sustentáveis de produção, as categorias tipo orgânico e *fair trade* se enquadram neste contexto (SILVA et al., 2018). O café orgânico remete a regras de produção orgânica como o uso de fertilizantes orgânicos e controle biológico de pragas e doenças (SEBRAE, 2020). Já o café *fair trade* está inserido no campo da produção agroecológica, onde questões sociais e ambientais são levadas em consideração, havendo o monitoramento de processos para a garantia da presença de características desejáveis no café (SEBRAE, 2020).

O processo de produção de café contempla duas etapas mutuamente exclusivas, ou seja, após a primeira lavagem os grãos podem ser tratados pela via úmida com o despolpamento, fermentação, uma segunda lavagem e descascamento destes (ICO, 2020). Ou podem ser tratados conforme a via seca, onde os grãos após a primeira e última lavagem, seguem para as etapas de secagem, limpeza e descascamento (ICO, 2020). Frente a isso, ambos os processos geram como principal resíduo de produção a casca do café. Desta forma, a reutilização deste resíduo significa uma alternativa de redução de custo para os produtores bem como um caminho sustentável para a fertilização do solo (SILVA et al., 2018).

Entretanto, vale ressaltar que mesmo havendo a comprovação do potencial biológico deste resíduo, ainda há o descarte deste por alguns produtores e quando há o seu aproveitamento, geralmente este ocorre na produção de outros cultivares como o eucalipto e

vegetais, por exemplo (MONACO et al., 2020). Há também o descarte da poupa na via úmida de produção de café em menor quantidade, uma vez que cerca de 80% do café brasileiro é produzido mediante a via seca com uma produção anual estimada de aproximadamente 30 milhões de sacas de casca de café (COSTA, 2020).

A produção de café no Brasil, segundo dados da CNA (2022), a quantidade de terras dedicadas ao plantio de cafés tipo Arábica e *Conilon* foi de 1,82 milhão de hectares em 2021, sendo 1,45 milhão de café do tipo Arábica e 375,99 mil hectares de café *Conilon*. Além disso, as principais regiões produtoras correspondem a Minas Gerais – maior produtor de café com 992,41 mil hectares plantados (54% da área em produção no país) –, Espírito Santo com 400,41 mil hectares, São Paulo com 198,18 mil hectares, Bahia com 101,46 mil hectares, Rondônia com 63,57 mil hectares e Paraná com 33,25 mil hectares (CNA, 2022).

No caso de Minas Gerais, por exemplo, especificamente a região do Cerrado Mineiro é formada pela conjunção de 55 municípios onde estão dispersos cerca de 4.500 produtores responsáveis pela produção de aproximadamente 5 milhões de sacas de café (EXPOCACCER, 2020). A região ainda contempla três microrregiões do estado, a saber, Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Noroeste de Minas (EXPOCACCER, 2020; CERRADO MINEIRO, 2020). Além disso, vale ressaltar suas particularidades frente outras regiões do Cerrado brasileiro, pois esta foi a primeira região demarcada de produção de cafés no país (EXPOCACCER, 2020). Dentre os municípios de maior participação em termos de produtividade estão: Patrocínio – maior produtor de café do Brasil –, Monte Carmelo, Araguari, Coromandel, Araxá, Carmo do Paranaíba, Unaí, Campos Altos, Guarda-Mor, Patos de Minas e Sacramento (CERRADO MINEIRO, 2020; EXPOCACCER, 2020).

Ainda conforme a EXPOCACCER (2020) e o Cerrado Mineiro (2020), a região de Minas Gerais possui Denominação de Origem, ou seja, é um território demarcado por produzir um café com atributos únicos e que não podem ser encontrados em outra região. Tal fato contribui para a agregação de valor ao produto e garante maiores retornos econômicos para os produtores da região (EXPOCACCER, 2020). Vale ressaltar que esta singularidade presente no café produzido no Cerrado Mineiro abre portas para o crescimento do mercado de derivados a partir de empreendimentos (EXPOCACCER, 2020). Isso ocorre pois tem aumentado o interesse dos consumidores por experiências sensoriais que permitam a identificação de características da bebida como acidez, aroma, corpo, sabor e finalização (EXPOCACCER, 2020). Cabe lembrar que a produção de café do Cerrado Mineiro corresponde à 25,4% da produção mineira e à 12,7% da produção nacional (COSTA, 2020; EXPOCACCER, 2020).

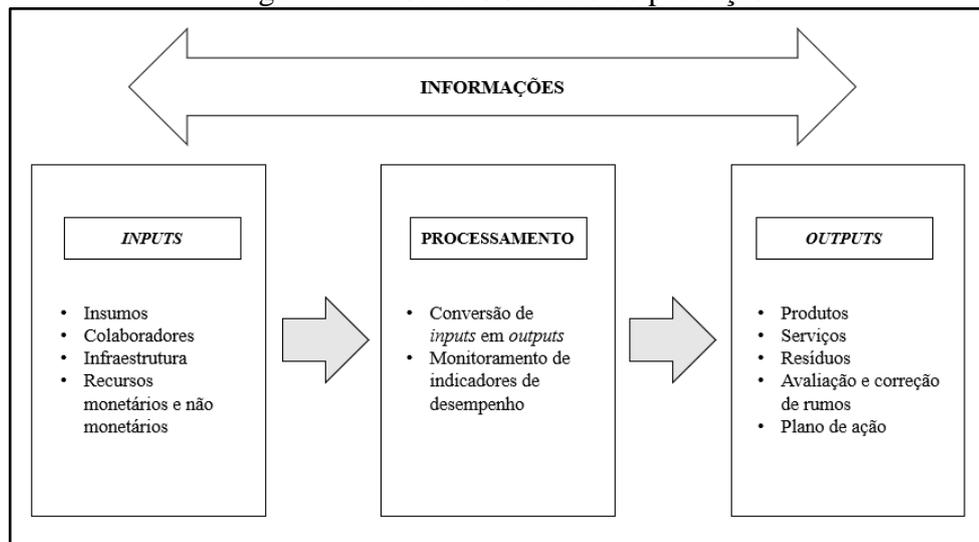
2.2 Referencial Teórico: Gestão por desempenho

O estudo do desempenho das organizações requer o conhecimento do sistema de produção vigente nestas (FRANCO-SANTOS; OTLEY, 2018). Nesse âmbito, um sistema de produção contempla um conjunto de insumos (pessoas, máquinas e processos) dedicados a um objetivo final, o desenvolvimento de produtos e serviços (TSENG; LEVY, 2019). Nesse sentido, um fluxo adequado de informações auxilia na construção de boas práticas de produção, pois permite a correção de falhas existentes no sistema (BROWN et al., 2019). Dessa forma, tratar de um sistema de produção eficiente pressupõe o conhecimento e aplicação de práticas de gestão de desempenho (FRANCO-SANTOS; OTLEY, 2018; BROWN et al., 2019).

A gestão de desempenho apresenta múltiplas conexões com outras dimensões importantes para o alcance da eficiência de processos organizacionais, dentre elas, a dimensão estratégica, de qualidade e de produção (TSENG; LEVY, 2019). Para tanto, muitas organizações realizam um planejamento estratégico periódico para a atualização de suas metas e objetivos a serem alcançados em cada dimensão (BROWN et al., 2019). Além disso, o estabelecimento de metas e objetivos auxiliam na construção de uma cultura de melhoria contínua nas organizações, de modo a alavancarem exponencialmente seus resultados (FRANCO-SANTOS; OTLEY, 2018).

Neste âmbito, diversos setores da economia têm se beneficiado destes conceitos e práticas de gestão, a fim de aumentarem suas receitas e sua representatividade no contexto global (TSENG; LEVY, 2019). Frente a isso, o agronegócio caracteriza-se como um dos setores de maior importância para a economia, apresentando destaque nacional e internacional (MAPA, 2020; CNA, 2022). Isto se deve em parte a boas práticas de gestão que têm sido desenvolvidas no setor a partir da aplicação de conceitos de gestão de desempenho organizacional (CNA, 2022). A Figura 1 busca aliar aspectos do sistema de produção a práticas de gestão de desempenho através de um modelo sistêmico de entradas, processamento e saídas, comum em diferentes setores inclusive no agronegócio.

Figura 1 – Modelo sistêmico de produção



Fonte: Adaptado de Antunes (2009).

Desta maneira, o modelo representado na Figura 1 revela partes fundamentais para a formação de um sistema produtivo eficiente. Neste, há o consumo a priori de recursos monetários e não monetários que na condição de *inputs* do processo passarão pela etapa de processamento até a formação dos produtos e serviços finais. A etapa de processamento ocorre mediante a predefinição de metas e objetivos de cada dimensão ou departamento organizacional. Desta forma, haverá o processo de conversão de *inputs* em *outputs* e o monitoramento de indicadores de desempenho. Segundo Brown et al. (2019), os indicadores de desempenho representam medidas que as organizações utilizam para a mensuração de sua performance. Ainda conforme Brown et al. (2019), existem diferentes tipos de indicadores distribuídos nas esferas estratégica, de qualidade, de capacidade e de produtividade.

Na etapa final de geração dos *outputs*, além da formação de produtos e serviços finais, vale ressaltar a geração de resíduos do processo que podem ser reincorporados às entradas do sistema produtivo, a partir de uma etapa de logística reversa. Para o agronegócio a possibilidade de reutilização de resíduos reflete positivamente na produção, trazendo economia de recursos, além de contribuir com o meio ambiente por se tratar de uma medida sustentável (MARIYONO, 2019; MAPA, 2020). Ademais, há ainda nesta etapa a avaliação de todo o processo onde há a possibilidade de identificação de falhas e possíveis correções. Além disso, em alguns casos é comum o desenvolvimento de planos de ação direcionados às metas e objetivos organizacionais. Nesse contexto, o fluxo de informações em ambas as direções do processo é fundamental para a implementação de uma cultura de melhoria contínua (TSENG; LEVY, 2019; MARIYONO, 2019).

Se tratando dos indicadores de desempenho no contexto do agronegócio, há uma predominância na utilização de indicadores financeiros (MAPA, 2020; CNA, 2022). No entanto, para a ocorrência de uma produção agrícola eficaz é necessária uma visão holística do processo, com a consideração de outros indicadores não-financeiros. Dessa forma, indicadores de capacidade agrícola, de produtividade e qualidade têm sido incorporados à análise (BRIONES PEÑALVER et al., 2018; CNA, 2022). Além disso, no âmbito sustentável, o agronegócio tem avançado quanto a geração de novas fontes de energia, economia de recursos naturais bem como na emissão de quantidades menores de gases estufa (BRIONES PEÑALVER et al., 2018; MARIYONO, 2019).

A sustentabilidade impacta no desempenho de propriedades agrícolas visto que este conceito está pautado nos pilares econômico, social e ambiental (NIGRI; DEL BALDO, 2018; GACHUHI; AWUOR, 2019). A sustentabilidade econômica pressupõe que sejam realizados planejamentos financeiros para investimentos em ações de cunho sustentável (NIGRI; DEL BALDO, 2018). Dessa forma, com o planejamento adequado estes projetos podem ocorrer de maneira sólida, sem a possibilidade de haver interrupções por falta de recursos. Além disso, a sustentabilidade social contempla uma preocupação com os colaboradores e a sociedade impactada por propriedades agrícolas, de modo a trazer qualidade de vida e melhorias de educação, saúde, lazer, entre outros (GACHUHI; AWUOR, 2019). Já a sustentabilidade ambiental, corresponde a preservação e conservação da biodiversidade, direcionando esforços para a economia de recursos naturais e minimização de impactos ambientais (NIGRI; DEL BALDO, 2018; SAVIĆ et al., 2020).

Vale ressaltar a influência de práticas sustentáveis na comercialização de produtos de origem agrícola (DUAN et al., 2021). Além disso, o cenário recente marcado por eventos climáticos indesejáveis tem impactado negativamente a produção de alimentos, o que enfatiza a importância de ações de cunho sustentável para a recuperação de áreas degradadas e produção de alimentos mais saudáveis (GACHUHI; AWUOR, 2019). Nesse sentido, uma parcela considerável do público consumidor tem modificado seu padrão de consumo de alimentos, optando por aqueles de origem orgânica (NIGRI; DEL BALDO, 2018). Todavia, a produção em larga escala ainda resiste aos hábitos de produção elementares pautados no uso de agroquímicos a fim de elevar a produtividade e controlar a ação de pragas (NIGRI; DEL BALDO, 2018; DUAN et al., 2021).

A qualidade percebida na produção de alimentos pode ser expressa pela utilização de certificações em diferentes setores de produção (TEY et al., 2020; DAMKE et al., 2021). Dessa maneira, as certificações representam um caminho promissor para a gestão de desempenho de

propriedades agrícolas, uma vez que a capacitação de colaboradores reflete o nível de conhecimento e os investimentos que tem sido feitos para desenvolvimento e alcance de melhores resultados (CUI et al., 2018; DAMKE et al., 2021). Cabe lembrar a multiplicidade de certificações existentes no âmbito do agronegócio, com destaque para as dimensões de qualidade e sustentabilidade que têm sido bastante discutidas recentemente (TEY et al., 2020).

A capacidade de produção e a logística de distribuição contemplam outras dimensões importantes que formam o debate acerca da gestão de desempenho no agronegócio (ELOCK et al., 2019; CALLADO; JACK, 2021). Dessa forma, os indicadores de desempenho se fazem necessários a fim de orientar as decisões sobre ajustes na capacidade de produção (RIBEIRO et al., 2020). Já a logística de distribuição aborda decisões importantes sobre a escolha de modais adequados e fornecedores de insumos a fim de reduzir gastos com recursos e aumentar a lucro da propriedade (ELOCK et al., 2019; CALLADO; JACK, 2021).

2.3 Teoria da produção da firma

As organizações a fim de alcançarem maior desempenho em suas atividades utilizam-se da combinação de fatores de produção para a geração de novos produtos ou serviços (BROWNING; ZUPAN, 2020). Os fatores de produção consistem em todos os insumos necessários para a produção de um bem final (BESANKO; BRAEUTIGAM, 2020). Desta maneira, as categorias mais conhecidas para a divisão dos fatores de produção são: trabalho (L), capital (K) e recursos naturais (N). A relação entre estes fatores pode ser descrita a partir da função de produção (Q) conforme a equação (1).

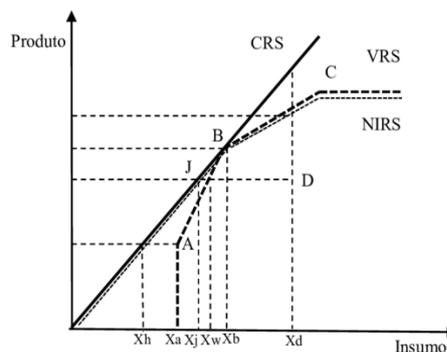
$$Q=f(N,L,K) \tag{1}$$

A função da produção (1) permite a combinação de fatores de produção em proporção distinta (PINDYCK; RUBINFELD, 2018). Assim, o mesmo produto pode ser gerado a partir de diferentes processos de acordo com o nível de tecnologia de cada organização por exemplo. Além disso, esta função descreve uma viabilidade de produção pautada na eficiência dos processos (BROWNING; ZUPAN, 2020). Dito isso, emergem os conceitos de eficiência técnica e eficiência econômica. A eficiência técnica contempla a produção máxima de um bem com a utilização mínima de recursos, já a eficiência econômica remete aos preços dos fatores de produção, ou seja, será mais eficiente economicamente aquele método que incorrer em

menor custo para a produção da mesma quantidade de um bem final (PINDYCK; RUBINFELD, 2018; BROWNING; ZUPAN, 2020).

Vale ressaltar a questão do retorno de escala que corresponde a taxa na qual a produção será aumentada caso haja aumentos proporcionais nos insumos consumidos (BESANKO; BRAEUTIGAM, 2020). Neste sentido, conforme apresentado na Figura 2, há três cenários possíveis: retornos crescentes (VRS), constantes (CRS) e decrescentes de escala (NIRS). Os retornos crescentes ocorrem quando a produção é mais que duplicada ao se dobrar a quantidade de todos os insumos. Os retornos constantes ocorrem quando a produção é duplicada ao se dobrar a quantidade de insumos. Já os retornos decrescentes ocorrem quando a produção não é duplicada ao se dobrar a quantidade de insumos (BESANKO; BRAEUTIGAM, 2020; BROWNING; ZUPAN, 2020), conforme representado na Figura 2.

Figura 2 – Retornos crescentes, constantes e decrescentes de escala



Fonte: Adaptado de Murillo-Zamorano (2004).

Neste sentido, outra possibilidade abordada pela teoria da produção da firma consiste na substituição de fatores de produção (BROWNING; ZUPAN, 2020). Neste âmbito, tem-se a taxa marginal de substituição técnica que indica a quantidade de capital que será reduzida ao se acrescentar uma unidade de trabalho, mantendo a produção constante por exemplo. Esta taxa pode ser utilizada em diferentes combinações de fatores desde que ambos possam ser alterados (PINDYCK; RUBINFELD, 2018; BESANKO; BRAEUTIGAM, 2020; BROWNING; ZUPAN, 2020).

2.4 Revisão de literatura

Em se tratando do estado da arte inerente ao tema proposto neste estudo foram identificados outros trabalhos recentes através de consultas realizadas em bases internacionais como a Web of Science e Scopus, que abordam as dimensões elucidadas nesta dissertação, a saber, a dimensão demográfica, agrícola, socioeconômica, certificação e economia circular, conforme apresentado no Quadro 1. Entretanto, cabe lembrar que estas dimensões foram tratadas de maneira isolada em cada estudo, sem haver um relacionamento entre todos, diferentemente da proposta de estudo realizada que contempla uma avaliação holística destas dimensões no plano da produção de cafés *Arábica* e *Conilon* no Brasil (ESTRADA et al., 2017; JORDAN, 2017; JEZEER et al., 2018; RAHN et al., 2018; HO et al., 2018; PUSPITANINGRUM et al., 2018; RODRÍGUEZ et al., 2019; BULGA et al., 2020; LEMEILLEUR et al., 2020; WINTER et al., 2020; AVRAAMIDOU et al., 2020; LA SCALIA et al., 2021; BELLIDO-ARCAS et al., 2021; DUAN et al., 2021; RIAÑO-CALDERÓN et al., 2021; HEIDENREICH et al., 2022; JIMÉNEZ-ORTEGA et al., 2022).

Quadro 1 – Artigos pesquisados relacionados ao tema da dissertação (Continua)

Método	Escopo	Autor(es)
Análise Envoltória de Dados e Método 5S	O artigo teve por objetivo descrever como usando ferramentas de controle de eficiência é possível obter uma melhoria no processo de produção de café.	BELLIDO-ARCAS et al. (2021)
Análise Envoltória de Dados	Este artigo fornece o primeiro exame empírico das diferenças na ecoeficiência entre fazendas cafeeiras convencionais e com certificação de sustentabilidade no Vietnã.	HO et al. (2018)
Modelo baseado em processos	O artigo esteve pautado na apresentação de um modelo que permite estimar o nível de sombra ideal ao longo de gradientes ambientais agora e no futuro para a melhor produtividade do café.	RAHN et al. (2018)
Modelo econométrico	Este artigo avaliou os efeitos do manejo de insumos no desempenho econômico do café.	JEZEER et al. (2018)
Modelo econométrico	Este artigo compara a sustentabilidade ambiental de vários tipos de sistemas de produção de café e avalia os impactos dos insumos energéticos na sustentabilidade econômica.	JORDAN (2017)
Análise Envoltória de Dados	Este artigo avaliou a ecoeficiência da produção de culturas de rendimento perenes de pequenos agricultores no Gana e no Quênia.	HEIDENREICH et al. (2022)
Modelo econométrico e Estatística Descritiva	O estudo avaliou o impacto da certificação de comércio justo na economia de pequenos produtores de café da região sudoeste da Etiópia.	BULGA et al. (2020)
Modelos estatísticos e de simulação	O estudo investiga sobre os incentivos para cafeicultores de Minas Gerais participarem de esquemas de certificação que requerem práticas agrícolas aprimoradas.	LEMEILLEUR et al. (2020)

Quadro 1 – Artigos pesquisados relacionados ao tema da dissertação (Conclusão)

Método	Escopo	Autor(es)
Indicadores de desempenho SMART para a caracterização de sistemas de produção de cafés certificados	O estudo avalia o grau sustentabilidade de sistemas de produção de café do Brasil e da Etiópia.	WINTER et al. (2020)
Modelagem Multi-Escala, Avaliação do Ciclo de Vida e Intensificação de processos.	O estudo identifica as oportunidades de Pesquisa da Engenharia de Sistemas de Processo (PSE) para auxiliar na otimização das cadeias de suprimentos de Economia Circular a partir da cadeia de abastecimento do café.	AVRAAMIDOU et al. (2020)
Análise multicritério	Este artigo apresenta uma abordagem de análise multicritério para avaliar e selecionar o Sistema de Apoio a Decisão agrícola mais apropriado para o agronegócio sustentável.	DUAN et al. (2021)
Análise multicritério	Este artigo discute como incorporar as mudanças dentro de um agroecossistema na avaliação da sustentabilidade.	JIMÉNEZ-ORTEGA et al. (2022)
Métodos DELPHI, Analytic Hierarchy Process (AHP), análise de componentes principais e o método de superfícies de contorno	O estudo busca estimar a sustentabilidade, rentabilidade e produção agrícola de uma plantação de café a partir da combinação de diferentes metodologias e com a combinação de 10 variáveis.	RIAÑO-CALDERÓN et al. (2021)
Análise Multicritério	Este artigo busca comparar métodos de avaliação ambiental de modo a identificar suas vantagens e desvantagens quando utilizados para analisar a eficiência energética em sistemas de produção agrícola.	RODRÍGUEZ et al. (2019)
Análise Multicritério	O estudo buscou avaliar áreas de maior potencial para o desenvolvimento do agronegócio de carne bovina.	PUSPITANING RUM et al. (2018)
Análise de redes	O estudo trata do primeiro modelo de rede bayesiana para avaliação agroecológica de terras para Coffea arabica L.	ESTRADA et al. (2017)
Análise Multicritério	Este estudo tem como objetivo investigar a possibilidade de reutilização de borras de café usadas para produzir novos materiais de construção para serem usados em edifícios sustentáveis.	LA SCALIA et al. (2021)

Fonte: Do autor (2022).

Além disso, foram identificados outros estudos referentes a modelos de gestão e análise de padrões sustentáveis de produção. No estudo de De Almeida e Zylbersztajn (2017) foram apresentados desafios presentes e futuros para a cadeia do café brasileiro, a partir de uma abordagem qualitativa. Para tanto, foram entrevistados mais de 10 especialistas em café e os resultados analisados por 39 cafeicultores das principais regiões produtoras do país (DE ALMEIDA; ZYLBERSZTAJN, 2017).

No estudo de Lemeilleur et al. (2020) foram investigados os incentivos para cafeicultores de Minas Gerais participarem de certificações de cunho sustentável. Neste foi avaliada uma amostra de 250 cafeicultores e comprovado que a forma de pagamentos influencia na formação de esquemas de certificação. Em relação ao plano sustentável, Silva et al. (2018)

verificaram a existência de práticas sustentáveis em toda a cadeia produtiva do café na região do Cerrado Mineiro e buscaram compreender os efeitos dessa adoção para a gestão da cadeia de suprimentos. Já Branco e Dos Santos (2019) realizaram um estudo de abordagem qualitativa sobre as diretrizes capazes de descrever a cadeia produtiva sustentável da produção de cafés especiais de pequenas propriedades no Brasil.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção se dedica a apresentação das etapas metodológicas do estudo.

3.1 Técnicas de análise de dados: Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise Envoltória de Dados (DEA)

Esta seção corresponde a apresentação de conceitos fundamentais acerca das técnicas de Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise Envoltória de Dados (DEA).

3.1.1 Análise de Componentes Principais (PCA)

A técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) contempla a análise multivariada das inter-relações existentes entre um volume maior de variáveis bem como a explicação destas em função de suas componentes (GRANATO et al., 2018; OMUYA et al., 2021). Desta forma, o objetivo da técnica é condensar as informações de um grande número de variáveis em um conjunto menor (componentes), com a perda mínima de informações (SANTOS et al., 2019; OMUYA et al., 2021). Além disso, após a aplicação da técnica, as variáveis originais corresponderão às próprias componentes principais (OMUYA et al., 2021).

Vale ressaltar a necessidade do uso de variáveis métricas, sem o estabelecimento de relações de dependência (SANTOS et al., 2019). Nesse sentido, não há variáveis mais importantes, mas sim, variáveis mais correlacionadas entre si (OMUYA et al., 2021). Dessa maneira, com a definição dos fatores ou componentes haverá a pressuposição de uma relação linear entre as variáveis, ou seja, não existirá relação entre os fatores, mas entre as variáveis agrupadas em cada fator ou componente (GRANATO et al., 2018; SANTOS et al., 2019).

Neste âmbito, uma Análise de Componentes Principais é construída a partir de um conjunto de p variáveis de n indivíduos. Assim, a primeira componente (W_1) extraída será formada pela combinação linear das variáveis X_1, X_2, \dots, X_p , a partir da equação (2):

$$W_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \quad (2),$$

onde a_{ij} representam os autovetores. Segundo Granato et al. (2018), os autovetores representam o peso de cada variável original sobre cada componente. Dessa forma, a componente será extraída de modo que a $\text{Var}(W_1)$ seja a maior possível sujeita a restrição (3):

$$a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{1p}^2 = 1 \quad (3).$$

Analogamente, as demais componentes serão obtidas de modo que W_1, W_2, \dots, W_p não sejam correlacionadas. Além disso, caso existam p variáveis, existirão no máximo p componentes principais (GRANATO et al., 2018; OMUYA et al., 2021).

As componentes principais podem ser extraídas através de uma matriz de correlação ou de uma matriz de covariância (GRANATO et al., 2018). Em alguns casos, quando há divergências acentuadas entre as variâncias das variáveis de cada componente, estas acabam dominando a componente. Nesses casos, recomenda-se a utilização da matriz de correlação para a extração de componentes a fim de eliminar o risco de uma variável se sobressair e tomar a importância da componente para si (OMUYA et al., 2021). Dessa maneira, a realização desta etapa significa a padronização das variáveis de interesse (GRANATO et al., 2018). Assim, a matriz de correlação é expressa por uma matriz simétrica conforme representado em (4):

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1p} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{p1} & c_{p2} & \dots & c_{pp} \end{pmatrix} \quad (4),$$

onde o elemento c_{ii} da diagonal principal corresponde a correlação da variável X_i e o termo externo a diagonal principal c_{ij} representa a correlação entre as variáveis X_i e X_j .

Frente a isso, tem-se que a variância das componentes principais correspondem aos autovalores da matriz C (ou seja, os termos c_{ij}). Segundo Omuya et al. (2021), os autovalores representam a contribuição relativa de cada componente na explicação da variação total dos dados. Desta forma, a soma dos autovalores (λ_p) é igual à soma dos elementos da diagonal principal da matriz C , conforme (5):

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p = c_{11} + c_{22} + \dots + c_{pp} \quad (5),$$

onde λ_p corresponde à variância da componente principal W_p . Além disso, é comum a configuração das variáveis X_1, X_2, \dots, X_p para que tenham médias nulas e variâncias unitárias no início das análises (OMUYA et al., 2021). Desta maneira a matriz C corresponderá ao formato apresentado em (6):

$$C = \begin{pmatrix} 1 & c_{12} & \dots & c_{1p} \\ c_{21} & 1 & \dots & c_{2p} \\ \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ c_{p1} & c_{p2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (6),$$

onde a soma dos elementos da diagonal principal corresponde ao total de variáveis X.

De acordo com Santos et al. (2019), a aplicação da técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) segue uma estrutura definida em três etapas, a saber, Construção da matriz de correlação; Construção da hipótese de que há uma matriz identidade e Estudo das comunalidades e autovalores (SANTOS et al., 2019; OMUYA et al., 2021). A construção da hipótese é uma etapa importante, pois caso a matriz identidade exista bastará a matriz [1,0] para explicar as variáveis. Assim, serão enunciadas a hipótese H_0 (Existe matriz identidade) e a hipótese H_1 (Não existe matriz identidade).

No que se refere a terceira etapa, o estudo das comunalidades indica a parcela da variância que uma variável compartilha com todas as outras variáveis de análise. Sendo assim, quanto maior a comunalidade maior será o poder de explicação da variável pelo fator (SANTOS et al., 2019). Já o estudo dos autovalores possibilita a escolha da quantidade de fatores a serem extraídos, uma vez que reflete o poder explicativo dos fatores. Segundo Granato et al. (2018), é comum a utilização de fatores que explicam de 70 a 80% das variáveis.

3.1.2 Análise Envoltória de Dados (DEA)

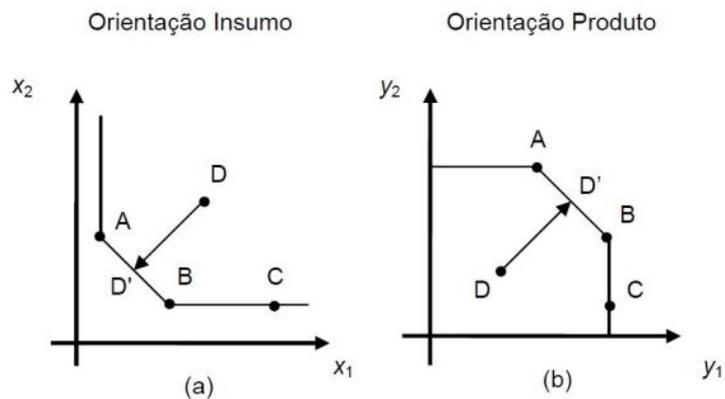
A técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA) contempla a utilização de modelos matemáticos não paramétricos que auxiliam na mensuração do desempenho de organizações denominadas *Decision Making Units (DMUs)* (PEYKANI et al., 2019). Segundo Ferreira (2009), as *DMUs* são consideradas unidades produtivas que tomam decisões em diferentes âmbitos de conhecimento. Para tanto, a abordagem não paramétrica é utilizada para múltiplos insumos e produtos, a partir de onde se geram as fronteiras de produção eficientes para cada unidade analisada pautando-se nos princípios da programação linear (FERREIRA, 2009). Dessa forma, a eficiência é calculada com base na distância entre cada *DMU* e a fronteira de eficiência estimada (KOHL et al., 2019).

De acordo com Ferreira (2009), ao tratar da Análise Envoltória de Dados devem ser elucidados conceitos como produtividade e eficiência técnica nas organizações. Frente a isso, a

produtividade corresponde ao modo como os recursos serão utilizados para a produção, de forma que os insumos sejam consumidos de maneira consciente. No entanto, pode haver a ocorrência de folgas em insumos, que sinalizam a escassez ou o excesso destes (FERREIRA, 2009). Dessa forma, surge o conceito de eficiência técnica que compara a produtividade atual com a produtividade mais adequada de acordo com a fronteira de eficiência estipulada (KOHL et al., 2019). Nesse sentido, o conceito de eficiência técnica está direcionado a eliminação das folgas, já o consumo consciente de insumos está relacionado a tecnologia adotada e ao processo de produção, por exemplo (FERREIRA, 2009; PEYKANI et al., 2019).

Por outro lado, a eficácia está relacionada ao atingimento de metas e objetivos, sem uma preocupação ativa com o gasto de insumos (FERREIRA, 2009; KOHL et al., 2019). Cabe ressaltar a existência de dois tipos de modelos de eficiência para a *DEA*, o modelo orientado a insumos e o modelo orientado a produtos conforme representado pela Figura 3.

Figura 3 - Modelo de eficiência orientado a insumo e a produto



Fonte: Adaptado de Figueiredo (2019).

Conforme apresentado na Figura 3 (a), para o modelo de eficiência orientado a insumo, o objetivo consiste na redução de *inputs* mantendo o nível de *outputs* constante. Frente a isso, considerando x_1 e x_2 como insumos tem-se que as *DMUs* A, B, e C são consideradas eficientes por se localizarem na fronteira de eficiência. No entanto, a *DMU* D deve reduzir seu gasto de insumos para que atinja a fronteira de eficiência (ponto D'). Já se tratando da *DMU* C, embora seja considerada eficiente, há a possibilidade desta unidade reduzir seu consumo de insumo x_1 mantendo constante o gasto do insumo x_2 até se igualar a *DMU* B em termos de eficiência.

Em relação a Figura 3 (b), no modelo de eficiência orientada a produto, o objetivo consiste no aumento do nível de produção mantendo o consumo de insumos constante. Dessa maneira, tem-se que as *DMUs* A, B e C também são consideradas eficientes. Embora a *DMU* C possa aumentar o produto y_2 mantendo y_1 constante a fim de se equiparar a *DMU* B. Já a

DMU D deve aumentar os produtos y_1 e y_2 até atingir a fronteira de eficiência (ponto D'). Em ambas as situações a *DMU C* foi eficiente, mas obteve folga, ou seja, esta *DMU* após a otimização do consumo de insumos ou de ajustes no nível de produção pode se tornar mais eficiente.

No que se refere aos retornos de escala, os modelos tradicionais de *DEA* podem apresentar duas classificações: modelo *CCR* (desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes) com retornos constantes de escala e modelo *BCC* (desenvolvido por Bankers, Charnes e Cooper) com retornos variáveis de escala (FERREIRA, 2009). Neste sentido, o modelo *CCR* admite que aumentos nos *inputs* resultarão em aumentos proporcionais nos *outputs*. Já o modelo *BCC* não admite esta proporcionalidade entre insumos e produtos, possibilitando que a produtividade máxima varie ao longo de sua fronteira (FERREIRA, 2009).

Para tanto, ambos os modelos apresentam formulações orientadas a insumo e a produto. Segundo Ferreira (2009), o modelo *CCR* orientado a insumo é descrito por:

$$\text{Maximizar } E_{fo} = \sum_{j=1}^m \mu_j y_{j0} \quad (7)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1 \quad (7.1)$$

$$\sum_{j=1}^m \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0 \quad (7.2)$$

$$\mu_j, v_i \geq 0, \forall i, j \quad (7.3)$$

De acordo com a equação (7) e as restrições (7.1), (7.2) e (7.3), são estimados valores para as variáveis de decisão μ_j e v_i a fim de maximizar a eficiência da *DMU*. Se tratando do modelo *CCR* orientado a produto, este é descrito por Ferreira (2009) como:

$$\text{Minimizar } E_{fo} = \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} \quad (8)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{j0} = 1 \quad (8.1)$$

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \quad (8.2)$$

$$\mu_j, v_i \geq 0, \forall i, j \quad (8.3)$$

Nesse caso, o modelo representado pela função objetivo (8) e suas restrições (8.1), (8.2) e (8.3) permite que seja estimada a quantidade máxima de produto que pode ser produzido mantendo-se constante os insumos. No entanto, a escolha de orientação do modelo não impacta muito no valor da eficiência técnica, o que dependerá do objetivo que se pretende atingir com a análise (redução de insumos ou aumento da produção). Além disso, ambos os modelos orientados a insumo ou produto podem ser decompostos em técnicas alocativas e econômicas, com a consideração do valor dos produtos finais (FERREIRA, 2009).

Em relação ao modelo *BCC* orientado a insumo, conforme Ferreira (2009), trata-se de um modelo compatível ao modelo *CCR* orientado a insumo acrescido do fator de escala μ_0 , conforme representado em (9), (9.1), (9.2) e (9.3). Dessa forma, o modelo *BCC* generaliza o modelo *CCR*, considerando a ocorrência de rendimentos de escala constantes, crescente e decrescentes (FERREIRA, 2009).

$$\text{Maximizar } E_{fo} = \sum_{j=1}^m \mu_j y_{j0} + \mu_0 \quad (\mu, v) \quad (9)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1 \quad (9.1)$$

$$\sum_{j=1}^m \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \mu_0 \leq 0, \forall k \quad (9.2)$$

$$\mu_j, v_i \geq 0 (\varepsilon), \forall i, j \quad (9.3)$$

Segundo Peykani et al. (2019), os insumos apresentam preços positivos e escassez relativa, o que induz as organizações a operarem com eficiência técnica, reduzindo custos e economizando insumos e maximizando o limite de produção conforme o conjunto de restrições existente. Por fim, o modelo *BCC* orientado a produto é descrito por Ferreira (2009) como:

$$\text{Minimizar } E_{fo} = \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} + v_0 \quad (\mu, v) \quad (10)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{j0} = 1 \quad (10.1)$$

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + v_0 \leq 0, \forall k \quad (10.2)$$

$$\mu_j, v_i \geq 0 (\varepsilon), \forall i, j \quad (10.3)$$

De acordo com Peykani et al. (2019) e Kohl et al. (2019), os modelos de *DEA* se diferem de modelos estritamente econômicos uma vez que não há a necessidade de conversão de todos os *inputs* e *outputs* em unidades monetárias. Além disso, os índices de eficiência estimados pela técnica são pautados em dados reais, sendo que permite o estudo de *outliers* (unidades de comportamento assimétrico) como possíveis *benchmarks* para outras *DMUs* menos eficientes (FERREIRA, 2009).

3.2 Aplicação dos métodos

Com base nos estágios definidos, e o principal enfoque na aplicação das técnicas, Tadayon e Liu (1993) e Hosamani et al. (1996) contribuem para a elaboração da Análise de Componentes Principais enquanto formulação matemática, conforme demonstra a equação (11) adaptada de Ferreira (2011) e Johnson e Wichern (2007). Neste caso, \mathbf{Y}_i corresponde à componente principal, sendo o número de variáveis menor ou igual ao número de componentes principais (SHARMA et al., 2011; SINHA et al., 2011), ou seja, $Y_i = 1, 2, \dots, p$; \mathbf{e} refere-se aos autovetores ($e = 1, 2, \dots, p$) e \mathbf{X} às variáveis originais ($X = 1, 2, \dots, p$).

$$Y_i = e_{i1}X_1 + e_{i2}X_2 + \dots + e_{ip}X_p \quad (11)$$

Uma vez que a aplicação da *PCA* ocorreu com base em um conjunto de 34 variáveis, conforme as classificações de *inputs* e *outputs*, foram selecionadas as que obtiveram os maiores autovetores e, portanto, os maiores índices de correlação, em módulo, a partir das três primeiras componentes principais (CP1, CP2 e CP3). Para tanto, as variáveis foram tabuladas com o auxílio do *softwares* de análise estatística *R-Project 4.2.1* e *Rstudio versão 2022.07.2+576* a fim de alcançar resultados interessantes e que possam auxiliar a gestão de desempenho das principais regiões produtoras de café do Brasil. A utilização destas variáveis se justifica, pois juntas as componentes I, II e III explicam a maior porcentagem da variância total (WEBSTER, 2001; GAZDA, 2006; MERCANZINI et al., 2008) apresentando, dessa forma, maior poder de explicação, com maiores relevâncias para a realização deste estudo.

Em relação às variáveis de análise, estas estiveram relacionadas às 5 dimensões de desempenho, a saber, dimensão “Demográfica”, “Socioeconômica”, “Agrícola”, “Certificação” e “Economia Circular”, conforme representadas no Quadro 2. Desta forma, o conjunto de variáveis considerado para análise é composto por 19 *outputs* e 15 *inputs*, um total de 34 variáveis pertencentes ao questionário apresentado na seção Apêndice A.

Quadro 2 – Indicadores de desempenho relacionados as dimensões “Demográfica”, “Socioeconômica”, “Agrícola”, “Certificação” e “Economia Circular” (Continua)

Dimensão	Indicador	Definição	Abreviações	Classificação
Demográfica	Gênero	Quantidade de homens %	Qtd_H	<i>Input</i>
		Quantidade de mulheres %	Qtd_M	<i>Input</i>
	Idade	Média de idade dos produtores (homens e mulheres)	ID	<i>Input</i>
	Nível de escolaridade dos produtores	Nível de escolaridade dos produtores, média em anos	Esc_med	<i>Output</i>
	Número de mulheres em funções administrativas	Quantidade de mulheres na gestão das propriedades, em %	Qtd_M_Gest	<i>Output</i>
Socioeconômica	Tempo de existência	Tempo de existência da propriedade, em anos	TE_prop	<i>Input</i>

Quadro 2 – Indicadores de desempenho relacionados as dimensões “Demográfica”, “Socioeconômica”, “Agrícola”, “Certificação” e “Economia Circular” (Continua)

Dimensão	Indicador	Definição	Abreviações	Classificação
Socioeconômica	Renda total	Renda anual da propriedade por safra, em reais	Rend_prop	<i>Output</i>
	Acidentes de trabalho ocorridos no ano	Número de acidentes de trabalho ocorridos por ano, em unidades	Ac_prop	<i>Input</i>
Agrícola	Experiência agrícola dos produtores	Tempo de experiência do produtor, em anos	Texp_prod	<i>Output</i>
	Desperdício do produto	Quantidade de café desperdiçado no processo de comercialização (colheita, transporte, manuseio, venda), em percentual (%)	Qtd_cafeDesp	<i>Input</i>
	Investimento em Tecnologia	Renda anual gasta em investimento em tecnologia, em percentual (%)	Rend_tec	<i>Output</i>
	Capacitação	Número de cursos de capacitação feitos pelos produtores/funcionários por ano, em unidades	Capac_func	<i>Output</i>
	Área total da propriedade	Tamanho total da propriedade, em hectares	Tam_prop	<i>Input</i>
	Área disponível para cultivo	Área total de terra disponível para cultivo, em hectares	Area_cafe	<i>Input</i>
	Volume de café produzido	Volume de café produzido no ano, em sacas	Sacas_prod	<i>Output</i>
	Valor médio da saca	Valor médio da saca de café no ano, em reais	Pmedio_sc	<i>Output</i>
	Custo médio de produção	Custo médio de produção (COE) no ano, em reais	COEmedio_sc	<i>Input</i>
	Capacidade produtiva	Capacidade de produção da propriedade, em sacas/hectare/ano	Capac_prod	<i>Output</i>
	Crédito e Seguro Rural	Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito, em reais	Cred_financ	<i>Input</i>
	Áreas degradadas	Percentual de áreas degradadas utilizadas para plantio, (%)	Area_degrad	<i>Input</i>
	Áreas preservadas	Percentual de áreas preservadas (mata virgem) na propriedade, (%)	Area_preserv	<i>Output</i>
	Consumo de água	Volume de água consumido, litros por mês	Agua_cons	<i>Input</i>

Quadro 2 – Indicadores de desempenho relacionados as dimensões “Demográfica”, “Socioeconômica”, “Agrícola”, “Certificação” e “Economia Circular” (Conclusão)

Dimensão	Indicador	Definição	Abreviações	Classificação
Agrícola	Tratamento de água	Volume de água tratada na propriedade, litros por mês	Agua_trat	<i>Output</i>
	Utilização de combustíveis fósseis	Valor gasto no mês com combustíveis (gasolina, diesel), em litros/mês	Combust_cons	<i>Input</i>
Certificação	Número de certificações	Número de certificações obtidas pela propriedade, em unidades	Certif_prop	<i>Output</i>
Economia Circular	Reaproveitamento de água	Volume de água reaproveitada na propriedade, litros por ano	Agua_reapr	<i>Output</i>
	Geração de energia	Percentual de energia produzida na própria propriedade no ano	Energ_prod	<i>Output</i>
	Área irrigada na propriedade	Percentual da área irrigada na propriedade	Area_irrig	<i>Output</i>
	Tratamento de resíduos sólidos	Quantidade de resíduo sólido tratado, kg/ano	Resid_trat	<i>Output</i>
	Produção de adubo orgânico	Quantidade de adubo orgânico produzido, kg/ano	AdOrgan_prod	<i>Output</i>
	Investimentos em energia renovável na propriedade	Valor investido em energia renovável no ano, em reais	Energ_renov	<i>Output</i>
	Consumo de energia	Gasto com energia elétrica no ano, em reais	Energ_eletric	<i>Input</i>
	Quantidade de insumos	Quantidade de insumos utilizada por saca produzida, em reais	QtdInsum_prod	<i>Input</i>
Proporção de adubo orgânico e adubo químico	Proporção de adubo orgânico/adubo químico utilizados	PropAd_OrgQuim	<i>Output</i>	

Fonte: Do autor (2022)

O segundo estágio desta dissertação contempla o uso da técnica de Análise Envoltória de Dados (*DEA*), a partir do *software PIM-DEA 3.1*. Além disso, este estudo utiliza o modelo de retornos variáveis de escala (*BCC*), ou seja, quando os *inputs* aumentam ou diminuem em proporção distinta aos *outputs*. Desta forma, caso haja incrementos ou reduções nos *inputs* não haverá alterações proporcionais nos *outputs*.

Cabe lembrar que o modelo *BCC* serve para distinguir os conceitos de ineficiência técnica e de escala, estimando a eficiência técnica pura, a uma dada escala de operações, e

identificando se estão presentes ganhos de escala crescente, decrescente ou constante. Este modelo admite que a produtividade máxima varie em função da escala de produção. Sua formulação matemática é apresentada pela equação (12), adaptada de Cooper et al. (2011).

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} - v_0 \quad (\mu, v) \quad (12)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{j0} = 1 \quad (12.1)$$

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + v_0 \leq 0, \forall k \quad (12.2)$$

$$\mu_j, v_i > 0 (\varepsilon), \forall i, j \quad (12.3)$$

v_0 sem restrição de sinal.

Por fim, conforme a aplicação da técnica *DEA*, há a possibilidade de adequação de análises com base na orientação para o *input* ou *output*, assim, foi utilizado neste estudo a orientação para *output*. Isto se justifica, pois esta orientação considera a maximização das saídas resultantes das regiões produtoras, indo além da visão de reduzir os insumos consumidos no processo de produção dos cafés tipo Arábica e *Conilon*.

3.2.1 Tipo de Pesquisa

Esta dissertação possui caráter descritivo, uma vez que apresenta como um dos objetivos específicos contextualizar as principais regiões produtoras de cafés do tipo Arábica e *Conilon* no Brasil. Segundo Davidavičienė (2018) e Basias e Pollalis (2018), uma pesquisa desse tipo preza pela descrição das características de determinada população ou fenômeno, além de estabelecer relações entre variáveis. Frente a isso, é um tipo de pesquisa que procura classificar, explicar e interpretar fatos, investigando a frequência com que estes ocorrem, a natureza, características, causas e relações (BASIAS; POLLALIS, 2018). Neste tipo de pesquisa é comum a utilização de técnicas específicas para a coleta de dados como entrevistas, questionários e formulários (ZANGIROLAMI-RAIMUNDO et al., 2018).

No que se refere a abordagem de pesquisa, este estudo possui uma abordagem qualitativa e quantitativa, pois se propõe a realizar uma avaliação do desempenho das principais regiões produtoras de cafés tipo Arábica e *Conilon* do Brasil através da aplicação das técnicas *PCA* e *DEA* bem como uma análise qualitativa dos resultados. De acordo com Zangirolami-Raimundo et al. (2018), uma pesquisa qualitativa está pautada na interpretação de fenômenos e atribuição de significados. Já a pesquisa quantitativa contempla a tradução de informações e opiniões em números para a classificação e análise posteriores (LEAVY, 2017; BASIAS; POLLALIS, 2018).

Ademais, o estudo caracteriza-se pela utilização de uma lógica indutiva, pois conforme Davidavičienė (2018), o método indutivo parte da observação e análise de fatos específicos para a definição de proposições ou verdades gerais. Desta forma, a generalização deriva de observações de fatos de realidade concreta (BASIAS; POLLALIS, 2018).

3.2.2 Objeto de estudo e Amostragem

Segundo Ferreira (2009), a técnica *DEA* exige que as *DMUs* sejam comparáveis, ou seja, que respeitem a um conjunto de critérios e sejam homogêneas. Frente a isso, as *DMUs* devem realizar a mesma atividade, estar inseridas no mesmo mercado e utilizarem as mesmas variáveis de análise (*inputs* e *outputs*). De acordo com Zangirolami-Raimundo et al. (2018), o objeto de estudo pode ser definido a partir do desdobramento da questão de pesquisa. Frente a isso, o objeto de estudo evidenciado nesta dissertação corresponde às 12 principais regiões produtoras de café do tipo Arábica e *Conilon* segundo a classificação do Projeto Campo Futuro desenvolvido pelo CIM/UFLA. No entanto, este objeto de estudo pode ser desdobrado ainda mais, correspondendo aos produtores que representam o padrão de dados de cada uma das principais regiões produtoras de café no Brasil.

Nesse sentido, no que corresponde à amostragem, a amostra de pesquisa deste estudo é formada por 33 produtores de cafés distribuídos nas 12 principais regiões produtoras do Brasil conforme representado no Quadro 3. Ademais, todas as regiões produtoras de café contempladas são participantes do projeto Campo Futuro do CIM/UFLA. Vale ressaltar que a amostra de pesquisa deve contemplar um número três vezes maior que o número de variáveis ou indicadores selecionados para a Análise Envoltória de Dados (*DEA*) (COOPER et al., 2011), assim, foram selecionadas 5 variáveis para compor a análise do ano safra de 2018-2019 e 6 para o ano safra de 2020-2021.

Quadro 3 – Características básicas dos produtores

Produtores	Tipo de sistema	UF	Região
Prod1	manual	RO	Norte
Prod2	manual	RO	Norte
Prod3	manual	RO	Norte
Prod4	semimecanizado	BA	Nordeste
Prod5	semimecanizado	BA	Nordeste
Prod6	semimecanizado	BA	Nordeste
Prod7	semimecanizado	BA	Nordeste
Prod8	semimecanizado	SP	Sudeste
Prod9	semimecanizado	SP	Sudeste
Prod10	semimecanizado	SP	Sudeste
Prod11	mecanizado	SP	Sudeste
Prod12	mecanizado	SP	Sudeste
Prod13	mecanizado	SP	Sudeste
Prod14	mecanizado	SP	Sudeste
Prod15	manual	SP	Sudeste
Prod16	manual	SP	Sudeste
Prod17	manual	SP	Sudeste
Prod18	manual	MG	Sudeste
Prod19	manual	MG	Sudeste
Prod20	manual	MG	Sudeste
Prod21	manual	SP	Sudeste
Prod22	manual	SP	Sudeste
Prod23	manual	SP	Sudeste
Prod24	manual	MG	Sudeste
Prod25	manual	MG	Sudeste
Prod26	semimecanizado	PR	Sul
Prod27	semimecanizado	PR	Sul
Prod28	manual	MG	Sudeste
Prod29	manual	MG	Sudeste
Prod30	manual	MG	Sudeste
Prod31	manual	ES	Sudeste
Prod32	manual	ES	Sudeste
Prod33	manual	ES	Sudeste

Fonte: Do autor (2022)

Considerando o padrão do conjunto amostral analisado, algumas inferências podem ser realizadas. A região Sudeste compreende a maioria deste conjunto, haja vista que o maior volume de produção de café no Brasil é proveniente desta. No entanto, segundo este conjunto, é uma região marcada pelo tipo de produção manual. As produções dos tipos mecanizada e semimecanizada requerem um volume menor de mão de obra para a realização das atividades, todavia, a produção manual permite um tratamento de maior rigor quanto a seleção de grãos de alta qualidade.

Vale ressaltar o estado de Minas Gerais que possui produções de alto padrão de qualidade do plantio a colheita, o que garante a formação de uma bebida com todos os atributos desejáveis. Além disso, o estado de São Paulo conforme apresentado neste conjunto amostral

foi o único a apresentar produções do tipo mecanizada e semimecanizada para a região Sudeste, uma vez que o estado de Espírito Santo também apresentou o tipo de produção manual. Isto pode estar associado com o desenvolvimento econômico estadual, com a política de crédito rural implementadas a benefício do produtor para que investimentos em maquinário e inovação sejam concretizados, e ao preço do produto a partir do aumento da margem líquida dos produtores paulistas.

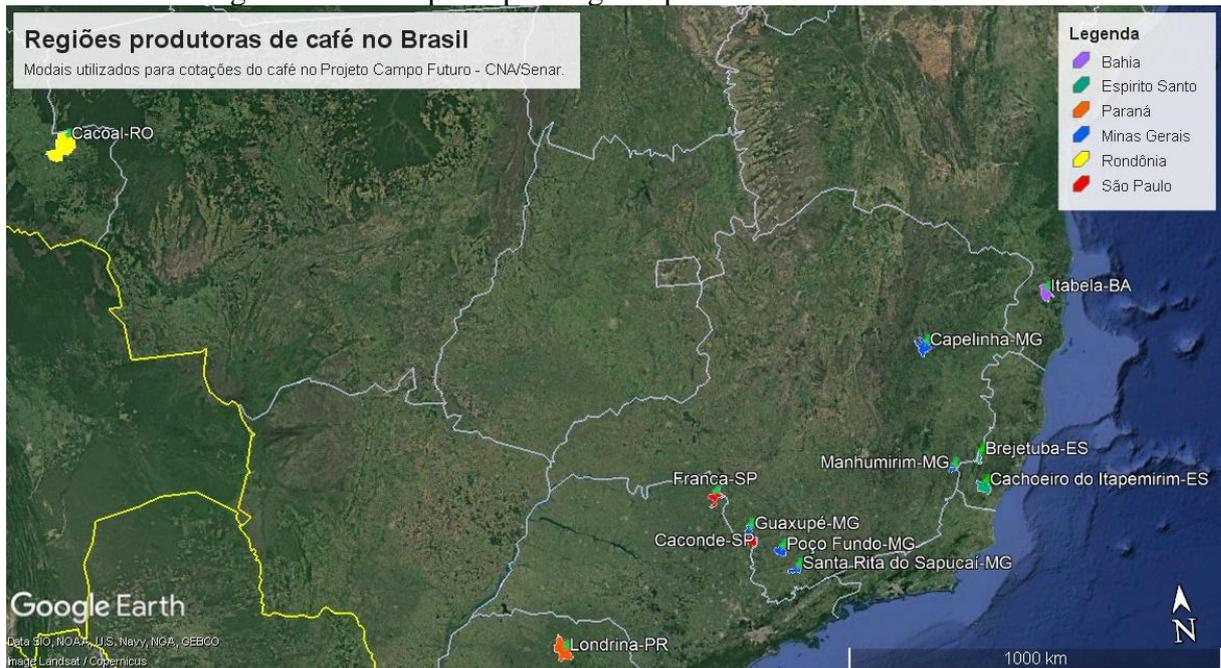
Ademais, no estado de São Paulo ainda há produtores que optam por um processo semimecanizado por acreditarem na importância e diferencial no trabalho da mão de obra em algumas atividades como a colheita, por exemplo. Esta situação também foi observada nos estados da Bahia e Paraná conforme o conjunto amostral apresentado. Segundo Rahn et al. (2018), a seleção dos grãos nos processos iniciais impacta positivamente na qualidade final da bebida.

No estado de Rondônia, foram coletados dados referentes a três produtores de café *Conilon*. Neste estado há características de clima e solo favoráveis para a produção deste tipo de café, tornando uma região típica para esta categoria de produção. Além disso, no que corresponde ao tipo de produção, todos estes produtores utilizam o tipo manual. Neste sentido, vale ressaltar a participação da mão de obra nos custos de cada propriedade que opta pelo tipo manual de produção, sendo importante que ocorra uma avaliação individual para a análise de viabilidade de cada caso.

3.2.3 Procedimentos e técnicas de coleta de dados

Neste estudo, a etapa de coleta e organização de dados baseia-se na aplicação de um questionário semiestruturado aos produtores de café das 12 principais regiões produtoras do Brasil conforme identificadas na Figura 4, nos moldes de uma pesquisa de campo. Segundo Davidavičienė (2018), este constitui uma técnica de levantamento de dados primários, além de prezar pela descrição verbal dos informantes. Todavia, o estudo também contempla a utilização de dados secundários obtidos a partir da base de dados do projeto Campo Futuro do CIM/UFLA. Conforme Zangirolami-Raimundo et al. (2018), os dados secundários constituem informações disponíveis e que não foram coletadas para um estudo específico, mas para a consulta pública.

Figura 4 – As 12 principais regiões produtoras de café no Brasil



Fonte: Adaptado de Google Earth (2022).

Desta forma, os dados da pesquisa foram coletados nos momentos iniciais. Além disso, primeiramente, foram obtidos os dados secundários acima citados, estes que representam a base do estudo, e em um segundo momento houve a complementação de informações a partir do questionário aplicado aos produtores de café. Além disso, foram coletados os dados referentes aos anos safra de 2018-2019 e 2020-2021 por se tratarem de anos recentes, que apresentam distinções de cenários devido a ocorrência de eventos climáticos, econômicos e de saúde pública impactantes na produção de café.

3.2.4 Análise e interpretação dos dados

Vale ressaltar que o estudo apresentou um período de 12 meses correspondente ao prazo de coleta dos dados. Foram analisadas 12 regiões produtoras de cafés do tipo Arábica e *Conilon* participantes do projeto Campo Futuro do CIM/UFLA. Conforme o objetivo proposto, para a medição do desempenho destas regiões produtoras o estudo encontra-se empiricamente estruturado em quatro estágios, de acordo com as orientações de Peixoto (2016) e o modelo de Peixoto et al. (2020), a saber:

- 1) **Primeiro estágio:** aplicação da Análise de Componentes Principais e proposição de índices de desempenho global para a gestão das regiões produtoras de café;
- 2) **Segundo estágio:** aplicação da técnica de Análise Envoltória de Dados;

- 3) **Terceiro estágio:** reaplicação da Análise de Componentes Principais, nos *inputs* e *outputs* do modelo *DEA*, com base na opinião e experiência dos pesquisadores e demais indivíduos que contribuirão para este projeto;
- 4) **Quarto estágio:** realização de uma análise complementar e comparativa entre os resultados obtidos a partir do uso da *PCA* e da *DEA*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção contempla os resultados alcançados neste estudo.

4.1 Contextualização dos produtores que compõe o campo amostral referente as 12 principais regiões produtoras de café no Brasil

Com base nos procedimentos metodológicos deste estudo, considerando o ano safra de 2018-2019, foram selecionados 21 *inliers* após a aplicação do modelo de *Superefficiency* de *Banker e Chang* (2006), sendo 71,4% destes compostos por produtores da região Sudeste, 9,5% da região Sul, 4,7% da região Norte e 14,3% da região Nordeste, conforme o conjunto amostral formado por 33 produtores de cafés tipo Arábica e *Conilon* no Brasil. Nesse sentido, a Tabela 1, representa os valores médios para os *inputs* e *output* em função do tipo de produtor, podendo-se obter os Grupos I, II e III.

Tabela 1 – Valores médios para os *inputs* e *output* em função do tipo de produtor considerando o ano safra de 2018-2019

Tipo de produtor	Variáveis				
	Qtd_M	Tam_prop (ha)	Agua_cons (L)	Area_cafe (ha)	Rend_prop
Grupo I	28%	43,875	81.750	14,9	R\$ 88.348,77
Grupo II	20%	980	2.000.000	35	R\$ 590.000,00
Grupo III	28%	135	545.000	76,5	R\$ 485.987,75

Qtd_M: Quantidade de mulheres; Tam_prop (ha): Tamanho total da propriedade, em hectares; Agua_cons (L): Volume de água consumido, em litros/mês; Area_cafe (ha): Área total de terra disponível para cultivo, em hectares; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra, em reais.

Fonte: Do autor (2022)

De acordo com a Tabela 1, o Grupo I foi composto pelos produtores 1, 5, 8, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 26, 27, 28, 29, 32 e 33, correspondendo a 76,2% do conjunto amostral. O Grupo II formado apenas pelo produtor 6. Já o Grupo III composto pelos produtores 7, 9, 12 e 14, o que representa 19% do campo amostral. O desempenho destes grupos em relação as variáveis consideradas na análise, para o *input* quantidade de mulheres (Qtd_M) o Grupo II obteve o menor valor em percentual, apenas 20% da força de trabalho, comparado aos demais grupos que obtiveram desempenho equivalente, na ordem de 28%.

Além disso, o Grupo II apresentou destaque em desempenho para as variáveis tamanho da propriedade (Tam_prop) e água consumida (Agua_cons) em relação aos demais grupos. Já

para a variável área total de terra disponível para cultivo (*Area_cafe*) o Grupo III obteve o maior valor dentre todos os grupos. Por fim, no que se refere a variável renda anual da propriedade por safra (*Rend_prop*), o Grupo II apresentou o maior quantitativo, seguido do Grupo III que obteve um desempenho inferior na ordem de 20% aproximadamente.

Analogamente, considerando o ano safra de 2020-2021, foram replicadas as análises referentes aos grupos conforme representado na Tabela 2. Sendo assim, foram selecionados 23 *inliers* do conjunto amostral de 33 produtores, dentre estes, 86,9% correspondentes a região Sudeste, 8,7% a região Norte e 4,3% a região Sul. Frente a isso, o Grupo I foi composto pelos produtores 1, 3, 8, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 28, 29, 30 e 33, representando 83% do campo amostral. O Grupo II formado pelos produtores 9, 10 e 24. E por fim, o Grupo III composto pelo produtor 18.

Tabela 2 – Valores médios para os *inputs* e *outputs* em função do tipo de produtor considerando o ano safra de 2020-2021

Tipo de produtor	Variáveis					
	Area_cafe (ha)	Cred_financ	AdOrgan_prod (kg)	QtdInsum_prod	Rend_prop	Rend_tec (%)
Grupo I	16,710	R\$ 79.473,68	50.052,630	R\$ 206,39	R\$ 264.243,81	16,58%
Grupo II	113,670	R\$ -	46.349,333	R\$ 207,30	R\$ 2.566.235,00	16,67%
Grupo III	18,000	R\$ 200.000,00	10.000	R\$ 137,90	R\$ 138.751,00	50%

Area_cafe: Área total de terra disponível para cultivo; Cred_financ: Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito; AdOrgan_prod: Quantidade de adubo orgânico produzido; QtdInsum_prod: Quantidade de insumos utilizada por saca produzida; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra; Rend_tec: Renda anual gasta em investimento em tecnologia.

Fonte: Do autor (2022)

Em relação as variáveis abordadas considerando o ano safra 2020-2021, o Grupo II apresentou a maior média para a variável área total de terra disponível para cultivo (*Area_cafe*), no entanto, foi o único a apresentar uma média nula para a variável valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito (*Cred_financ*). No caso do *output* quantidade de adubo orgânico produzido (*AdOrgan_prod*), os Grupos I e II mantiveram posição de destaque com os maiores quantitativos para a variável. Entretanto, ambos os grupos (I e II) também se destacaram com altos valores para o *input* quantidade de insumos utilizada por saca produzida (*QtdInsum_prod*), que representa o valor gasto com fertilizantes, corretivos e defensivos para a produção de uma saca de café de 60 quilos.

Já em relação ao *output* renda anual da propriedade por safra (*Rend_prop*) o Grupo II apresentou o maior valor médio para a variável, todavia, para o *output* renda anual gasta em investimento em tecnologia (*Rend_tec*) este grupo apresentou um quantitativo médio reduzido, o que pode estar associado a custos de produção elevados. Ademais, para a variável *Rend_tec*

o Grupo III obteve o maior valor médio comparado ao desempenho dos demais grupos, entretanto, este grupo foi caracterizado pela presença de um elevado valor médio para o *input* Cred_financ e baixo valor médio para as variáveis Area_cafe, AdOrgan_prod, QtdInsum_prod e Rend_prop.

4.2 Análise de Componentes Principais (PCA)

A utilização da técnica multivariada de Análise de Componentes Principais (PCA) permite a redução do volume de variáveis originais a partir dos valores de correlação de cada variável com cada componente considerada. Neste sentido, foi aplicada a PCA para a seleção de *inputs* e *outputs* a serem considerados para a aplicação seguinte da técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA) tanto para o ano safra 2018-2019 quanto para o ano safra 2020-2021.

A priori, para a análise do ano safra de 2018-2019 após a etapa de coleta de dados, foram eliminadas as variáveis Ac_prod, Texp_prod, Area_degrad, Agua_trat, Certif_prop, Agua_reapr, Energ_prod, Area_irrig, Resid_trat, Energ_renov em razão da ocorrência de um grande volume de respostas nulas para estas variáveis. Sendo assim a PCA foi aplicada para um conjunto de 24 variáveis, obtendo como resultado uma variância de 9%. Em seguida, foram selecionadas as variáveis com índice de correlação superior a 60%, alcançando um conjunto de apenas 10 variáveis originais. Logo após, a PCA foi aplicada novamente, alcançando uma variância de 74%, onde foram selecionadas as variáveis que obtiveram índice de correlação de 70%, um total de 7 apenas. A PCA foi aplicada novamente neste conjunto de variáveis, obtendo uma variância de 92%. Nesta etapa, foi eliminado o *output* com menor índice de correlação com os *inputs* e altamente correlacionado a um dos *outputs*. Finalmente, após esta etapa de análise das correlações, foi obtido o conjunto de 5 variáveis originais com 89% de variância total, a saber, Qtd_M, Tam_prop, Area_cafe, Agua_cons e Rend_prop.

No que corresponde a análise do ano safra de 2020-2021, foram eliminadas inicialmente as variáveis originais Ac_prod, Texp_prod, Area_degrad, Agua_trat, Certif_prop, Agua_reapr, Energ_prod, Area_irrig, Resid_trat e Energ_renov, analogamente ao ano safra de 2018-2019, em razão da ocorrência de muitos valores nulos nestas variáveis. Em seguida a PCA foi aplicada em um conjunto de 24 variáveis, obtendo uma variância de 44% neste conjunto. Frente a isso, foram selecionadas as variáveis com índice de correlação superior a 60%, restando apenas 10 variáveis. Logo após, a PCA foi reaplicada obtendo uma variância total de 76%, e foram selecionadas as variáveis com correlação acima de 70%, 8 variáveis no total. Sendo assim, a

PCA foi aplicada resultando em uma variância de 82%. Nesta etapa, analogamente ao ano safra de 2018-2019, foi eliminado o output com menor índice de correlação com os *inputs* e altamente correlacionado a um dos *outputs*. Por fim, foram selecionadas 6 variáveis com uma variância total de 74%, a saber, Area_cafe, Cred_financ, QtdInsum_prod, AdOrgan_prod, Rend_prop, Rend_tec.

Além disso, para a análise do ano safra de 2018-2019, a variância total observada de 89% pode ser decomposta nas três primeiras componentes principais (CPs) consideradas, a saber, a CP1 que explica aproximadamente 50% da variância total, a CP2 cerca de 22% e a CP3 mais de 17%. Nesta perspectiva a Tabela 3 representa a relação dos autovetores e correlações entre as componentes principais I, II e III e as variáveis originais selecionadas para a análise do ano safra 2018-2019.

Tabela 3 – Relação dos autovetores (\hat{e}) e das correlações (r) entre as componentes principais I, II e III e as variáveis originais selecionadas considerando o ano safra de 2018-2019

Variáveis	CP1		CP2		CP3	
	\hat{e}	r	\hat{e}	r	\hat{e}	r
Qtd_M	-0.06860753	-0.1080673	-0.897394896	0.939759604	0.2991446	0.2784856
Tam_prop	0.51382910	0.8093593	-0.008046746	0.008426621	-0.5517230	-0.5136209
Area_cafe	0.39721795	0.6256789	0.329739548	-0.345306073	0.6459127	0.6013058
Agua_cons	0.55804771	0.8790104	-0.288041372	0.301639386	-0.2445792	-0.2276885
Rend_prop	0.51193096	0.8063694	-0.054052282	0.056604012	0.3592939	0.3344809

Qtd_M: Quantidade de mulheres; Tam_prop (ha): Tamanho total da propriedade, em hectares; Agua_cons (L): Volume de água consumido, em litros/mês; Area_cafe (ha): Área total de terra disponível para cultivo, em hectares; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra, em reais.

Fonte: Do autor (2022)

Conforme a Tabela 3, as variáveis Tamanho total da propriedade (Tam_prop), Volume de água consumido (Agua_cons) e Renda anual da propriedade por safra (Rend_prop) foram as mais altamente correlacionadas à componente principal 1. No caso da segunda componente principal (CP2), a variável Quantidade de mulheres (Qtd_M) obteve o maior valor de correlação. Já em relação à CP3 a variável Área total de terra disponível para cultivo (Area_cafe) foi a mais correlacionada.

Se tratando do ano safra de 2020-2021, a variância total observada de 74% esteve distribuída entre as três primeiras componentes principais, de modo que a CP1 explica 33,9% da variância total, CP2 21,4% e CP3 18,9%. Além disso, a Tabela 4, contempla a relação dos valores observados para os autovetores e correlações entre as 3 primeiras componentes principais e as variáveis originais selecionadas.

Tabela 4 – Relação dos autovetores (\hat{e}) e das correlações (r) entre as componentes principais I, II e III e as variáveis originais selecionadas considerando o ano safra de 2020-2021

Variáveis	CP1		CP2		CP3	
	\hat{e}	r	\hat{e}	r	\hat{e}	r
Area_cafe	-0.62752025	0.8953656	0.2598585	0.2941928	-0.03404617	-0.03628003
Cred_financ	0.30602287	-0.4366430	0.3820577	0.4325378	0.58577359	0.62420785
QtdInsum_prod	-0.09042003	0.1290141	-0.5354165	-0.6061594	0.25399524	0.27066058
AdOrgan_prod	-0.21762215	0.3105101	-0.2078717	-0.2353371	0.75992726	0.80978825
Rend_prop	-0.66281333	0.9457229	0.2011940	0.2277772	0.04057991	0.04324247
Rend_tec	0.13308512	-0.1898900	0.6450930	0.7303272	0.10981989	0.11702549

Area_cafe: Área total de terra disponível para cultivo; Cred_financ: Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito; AdOrgan_prod: Quantidade de adubo orgânico produzido; QtdInsum_prod: Quantidade de insumos utilizada por saca produzida; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra; Rend_tec: Renda anual gasta em investimento em tecnologia.

Fonte: Do autor (2022)

Neste âmbito, para a componente principal 1 as variáveis Área total de terra disponível para cultivo (Area_cafe) e Renda anual da propriedade por safra (Rend_prop) foram as mais correlacionadas. Se tratando da segunda componente principal (CP2) as variáveis Quantidade de insumos utilizada por saca produzida (QtdInsum_prod) e Renda anual gasta em investimento em tecnologia (Rend_tec) apresentaram os maiores valores em módulo para a correlação. Vale ressaltar que a consideração dos valores em módulo foi realizada em todas as análises deste estudo de correlações, haja vista o carácter holístico conferido a análise abrangendo os dois possíveis cenários extremos. Por fim, na CP3 as variáveis originais Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito (Cred_financ) e Quantidade de adubo orgânico produzido (AdOrgan_prod) foram as mais correlacionadas à esta componente.

4.3 Seleção e classificação das variáveis em *inputs* e *outputs* e construção dos índices de desempenho global para a medição de desempenho das propriedades

A partir da aplicação da técnica multivariada de Análise de Componentes Principais (PCA) se tornou possível a construção da Tabela 5, em que foram apresentadas as variáveis mais altamente correlacionadas às três primeiras componentes principais para o ano safra de 2018-2019. Acentua-se que aplicação da Análise de Componentes Principais e a proposição de índices de desempenho global para a gestão das regiões produtoras de café contempla o primeiro estágio de realização desta pesquisa.

Tabela 5 – Variáveis altamente correlacionadas às componentes principais 1, 2 e 3 considerando o ano safra de 2018-2019

Dimensão de desempenho	Variável	CP1
Agrícola	Tam_prop	0,8093593
Economia Circular	Agua_cons	0,8790104
Socioeconômica	Rend_prop	0,8063694
Dimensão de desempenho	Variável	CP2
Demográfica	Qtd_M	0,9397596
Dimensão de desempenho	Variável	CP3
Agrícola	Area_cafe	0,6013058

Qtd_M: Quantidade de mulheres; Tam_prop (ha): Tamanho total da propriedade, em hectares; Agua_cons (L): Volume de água consumido, em litros/mês; Area_cafe (ha): Área total de terra disponível para cultivo, em hectares; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra, em reais.

Fonte: Do autor (2022)

Frente a isso, foram selecionadas 5 variáveis originais, sendo as variáveis Tam_prop e Area_cafe com coeficientes de correlação de 0,81 e 0,60 respectivamente, os *inputs* selecionados para a dimensão Agrícola. Ademais, foram selecionadas as variáveis Agua_cons (dimensão “Economia Circular”), Rend_prop (dimensão “Socioeconômica”), Qtd_M (dimensão “Demográfica”) com coeficientes de correlação de 0,88; 0,81; 0,94, respectivamente. Além disso, nota-se a ausência da dimensão “Certificação” em razão do baixo escore alcançado pela única variável pertencente a esta dimensão, inviabilizando sua seleção. Assim, foram contempladas 4 dimensões de desempenho para a análise posterior com base na técnica *DEA*.

Além disso, uma análise de correlação entre as variáveis selecionadas para o ano safra de 2018-2019 foi realizada, como alternativa de redução de variáveis uma vez que o conjunto amostral de produtores é limitado. Dessa forma, como representado na Tabela 6, foram priorizados os baixos valores de correlação entre as variáveis, de modo que foram mantidas as 5 variáveis originais por apresentarem correlações inferiores a 0,76.

Tabela 6 – Correlação entre as variáveis originais selecionadas para a aplicação da *DEA* considerando o ano safra de 2018-2019

Correlações 2018-2019	Qtd_M	Tam_prop	Area_cafe	Agua_cons	Rend_prop
Qtd_M	1	-0.07496338	-0.03090546	0.1811352	0.03160720
Tam_prop	-0.07496338	1	0.34169134	0.7380717	0.28240344
Area_cafe	-0.03090546	0.34169134	1	0.3021667	0.75726335
Agua_cons	0.18113525	0.73807173	0.30216667	1	0.37843563
Rend_prop	0.03160720	0.28240344	0.75726335	0.3784356	1

Qtd_M: Quantidade de mulheres; Tam_prop (ha): Tamanho total da propriedade, em hectares; Agua_cons (L): Volume de água consumido, em litros/mês; Area_cafe (ha): Área total de terra disponível para cultivo, em hectares; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra, em reais.

Fonte: Do autor (2022)

Neste sentido, vale ressaltar a maior correlação observada entre o *input* Area_cafe e o *output* Rend_prop, na ordem de 75,7%, fato que favorece a aplicação da técnica *DEA*. Assim, foram selecionadas para a etapa seguinte de aplicação da *DEA*, as variáveis originais Qtd_M, Tam_prop, Agua_cons, Area_cafe, Rend_prop. Além disso, a Tabela 7, apresenta um resumo das variáveis originais selecionadas, acrescido dos valores dos autovetores e correlações de cada uma das variáveis. Nesse caso, pode-se ressaltar a ocorrência de baixos valores de correlação para a componente principal 3, todavia, a importância de consideração desta componente se justifica pela variância acumulada nas três componentes principais (CP1, CP2 e CP3) na ordem de 90%.

Dessa maneira, foram classificados como *inputs* as variáveis originais Qtd_M, Tam_prop, Agua_cons e Area_cafe, já a variável Rend_prop contemplou o único *output* desta análise. Além disso, merecem destaque entre os *inputs* com maior e menor coeficiente de correlação, a saber, Qtd_M e Area_cafe, respectivamente. Para a componente principal 1, a variável original Agua_cons obteve o maior valor numérico para a correlação.

Tabela 7 - Seleção de *inputs* e *output* para a aplicação da *DEA* considerando o ano safra de 2018-2019

Variáveis	Tipo de variável	Dimensão de desempenho	Componente Principal	Autovetor	Correlação
Qtd_M	<i>Input</i>	Demográfica	CP2	-0,8973949	0,9397596
Tam_prop	<i>Input</i>	Agrícola	CP1	0,5138291	0,8093593
Agua_cons	<i>Input</i>	Economia Circular	CP1	0,5580477	0,8790104
Area_cafe	<i>Input</i>	Agrícola	CP3	0,6459127	0,6013058
Rend_prop	<i>Output</i>	Socioeconômica	CP1	0,5119310	0,8063694

Qtd_M: Quantidade de mulheres; Tam_prop (ha): Tamanho total da propriedade, em hectares; Agua_cons (L): Volume de água consumido, em litros/mês; Area_cafe (ha): Área total de terra disponível para cultivo, em hectares; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra, em reais.

Fonte: Do autor (2022)

Desta forma, os 4 *inputs* e único *output* podem ser definidos como:

- **Quantidade de mulheres (Qtd_M):** corresponde ao *input* que está mais correlacionado à componente principal 2, compõe a dimensão “Demográfica”, sendo medido em percentual.
- **Tamanho total da propriedade (Tam_prop):** corresponde a um dos *inputs* da dimensão “Agrícola” sendo mais correlacionado a componente principal 1, medido em hectares.
- **Volume de água consumido (Agua_cons):** corresponde a um *input* da dimensão de desempenho "Economia Circular" que esteve mais correlacionado a componente principal 1, medido em litros/mês.
- **Área total de terra disponível para cultivo (Area_cafe):** corresponde a um *input* da dimensão “Agrícola”, que apresentou alta correlação a componente principal 3, medido em hectares.
- **Renda anual da propriedade por safra (Rend_prop):** corresponde ao único *output* abordado para o ano safra de 2018-2019, pertencente a dimensão “Socioeconômica”, medido em reais.

Analogamente, para a análise do ano safra de 2020-2021, na Tabela 8 foram apresentadas as variáveis mais altamente correlacionadas às três primeiras componentes principais.

Tabela 8 – Variáveis altamente correlacionadas às componentes principais 1, 2 e 3 considerando o ano safra de 2020-2021

Dimensão de desempenho	Variável	CP1
Socioeconômica	Rend_prop	0,9457229
Agrícola	Area_cafe	0,8953656
Dimensão de desempenho	Variável	CP2
Economia Circular	QtdInsum_prod	-0,6061594
Agrícola	Rend_tec	0,7303272
Dimensão de desempenho	Variável	CP3
Economia Circular	AdOrgan_prod	0,8097882
Agrícola	Cred_financ	0,6242078

Area_cafe: Área total de terra disponível para cultivo; Cred_financ: Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito; AdOrgan_prod: Quantidade de adubo orgânico produzido; QtdInsum_prod: Quantidade de insumos utilizada por saca produzida; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra; Rend_tec: Renda anual gasta em investimento em tecnologia.

Fonte: Do autor (2022)

De acordo com a Tabela 8, foram obtidas 6 variáveis originais, sendo as variáveis Rend_tec, Cred_financ e Area_cafe pertencentes a dimensão “Agrícola” com coeficientes de correlação de 0,73; 0,62 e 0,89 respectivamente. Para a dimensão “Socioeconômica” foi considerada a variável Rend_prop com correlação de 0,94. Já para a dimensão “Economia Circular” foram consideradas as variáveis QtdInsum_prod e AdOrgan_prod que apresentaram correlações de -0,61 e 0,81. Neste caso, as dimensões “Demográfica” e “Certificação” estiveram ausentes uma vez que suas variáveis não apresentaram correlações suficientemente elevadas para as 3 componentes principais abordadas. Dessa maneira, foram consideradas 3 dimensões para a análise do ano safra de 2020-2021 sob a ótica da técnica *DEA*.

Seguindo o mesmo protocolo de análise do ano safra 2018-2019, foi desenvolvida uma análise das correlações entre as próprias variáveis para o ano safra 2020-2021 a fim de reduzir o volume de *inputs* e *outputs* contemplados, conforme a Tabela 9. Neste sentido, foram selecionadas 6 variáveis com correlações inferiores a 83%.

Tabela 9 – Correlação entre as variáveis originais selecionadas para a aplicação da *DEA* considerando o ano safra de 2020-2021

Correlações 2020-2021	Area_cafe	Cred_financ	AdOrgan_prod	QtdInsum_prod	Rend_prop	Rend_tec
Area_cafe	1	0.014899464	0.507264209	0.16731852	0.82444948	0.21490654
Cred_financ	0.01489946	1	-0.007769122	-0.02020570	-0.13552876	0.52178876
AdOrgan_prod	0.50726421	-0.007769122	1	0.16422510	0.72417071	0.18832033
QtdInsum_prod	0.16731852	-0.020205696	0.164225104	1	0.12920278	0.23640111
Rend_prop	0.82444948	-0.135528757	0.724170708	0.12920278	1	0.00452241
Rend_tec	0.21490654	0.521788764	0.188320334	0.23640111	0.00452241	1

Area_cafe: Área total de terra disponível para cultivo; Cred_financ: Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito; AdOrgan_prod: Quantidade de adubo orgânico produzido; QtdInsum_prod: Quantidade de insumos utilizada por saca produzida; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra; Rend_tec: Renda anual gasta em investimento em tecnologia.

Fonte: Do autor (2022)

Frente a isso, novamente o *input* Area_cafe apresentou forte correlação com o *output* Rend_prop, na ordem de 82%. Logo, foram selecionadas as variáveis originais Area_cafe, Cred_financ, AdOrgan_prod, QtdInsum_prod, Rend_prop e Rend_tec. Assim, a Tabela 10, representa um resumo dos *inputs* e *outputs* selecionados para a aplicação da técnica *DEA* correspondentes ao ano safra 2020-2021.

Tabela 10 - Seleção de *inputs* e *outputs* para a aplicação da *DEA* considerando o ano safra de 2020-2021

Variáveis	Tipo de variável	Dimensão de desempenho	Componente Principal	Autovetor	Correlação
Area_cafe	<i>Input</i>	Agrícola	CP1	-0,6275203	0,8953656
Cred_financ	<i>Input</i>	Agrícola	CP3	0,5857736	0,6242079
QtdInsum_prod	<i>Input</i>	Agrícola	CP2	-0,5354165	-0,6061594
AdOrgan_prod	<i>Output</i>	Economia Circular	CP3	0,7599273	0,8097883
Rend_prop	<i>Output</i>	Socioeconômica	CP1	-0,6628133	0,9457229
Rend_tec	<i>Output</i>	Agrícola	CP2	0,6450930	0,7303272

Area_cafe: Área total de terra disponível para cultivo; Cred_financ: Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito; AdOrgan_prod: Quantidade de adubo orgânico produzido; QtdInsum_prod: Quantidade de insumos utilizada por saca produzida; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra; Rend_tec: Renda anual gasta em investimento em tecnologia.

Fonte: Do autor (2022)

Com base na Tabela 10, foram verificados baixos valores de correlação para a componente principal 2, em especial para o *input* QtdInsum_prod. Entretanto, a consideração da CP2 é de suma importância, pois as componentes principais 1 e 2 juntas explicam mais de 50% da variância total dos dados. Neste âmbito, podem ser ressaltados o alto desempenho do *output* Rend_prop que alcançou a maior correlação dentre este conjunto de variáveis na ordem de 0,95. Além disso, as variáveis mais correlacionadas estiveram associadas a CP1, sendo elas, Area_cafe com correlação de 0,89 e Rend_prop, 0,95.

Desta forma, os 3 *inputs* e 3 *outputs* podem ser definidos como:

- **Área total de terra disponível para cultivo (Area_cafe):** corresponde ao *input* que esteve mais correlacionado à componente principal 1, pertence a dimensão “Agrícola”, medido em hectares.
- **Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito (Cred_financ):** representa o *input* mais correlacionado a componente principal 3, pertencente a dimensão “Agrícola”, medido em reais.
- **Quantidade de adubo orgânico produzido (AdOrgan_prod):** corresponde ao *output* mais correlacionado a componente principal 3, pertencente a dimensão “Economia Circular”, medido em quilos.
- **Quantidade de insumos utilizada por saca produzida (QtdInsum_prod):** corresponde ao *input* com correlação em módulo mais elevada para a componente principal 2, pertencente a dimensão “Economia Circular”, medido em reais.

- **Renda anual da propriedade por safra (Rend_prop):** corresponde ao *output* mais correlacionado a componente principal 1, pertencente a dimensão “Socioeconômica”, medido em reais.
- **Renda anual gasta em investimento em tecnologia (Rend_tec):** corresponde ao *output* mais correlacionado à componente principal 2, pertencente a dimensão “Agrícola”, medido em percentual.

Neste sentido, foram definidos os índices de desempenho global a partir da análise das correlações e autovetores das variáveis originais selecionadas e de suas respectivas componentes (CP1, CP2 e CP3). Desta forma, o Quadro 3, representa os índices de desempenho global gerados a partir as variáveis altamente correlacionadas com CP1, CP2 e CP3 considerando o ano safra de 2018-2019.

Quadro 3 – Índices de desempenho global gerados a partir das variáveis altamente correlacionadas com CP1, CP2 e CP3 considerando o ano safra de 2018-2019

Variáveis		Componente Principal	Índice de Desempenho Global
<i>Input</i>	Qtd_M	CP2	Índice de desempenho da mão de obra
<i>Input</i>	Agua_cons	CP1	Índice de desempenho na preservação de recursos hídricos
<i>Input</i>	Tam_prop		
<i>Input</i>	Area_cafe	CP3	Índice de desempenho na distribuição geográfica da produção
<i>Output</i>	Rend_prop	CP1	Índice de desempenho econômico baseado na renda bruta da propriedade

Qtd_M: Quantidade de mulheres; Tam_prop (ha): Tamanho total da propriedade, em hectares; Agua_cons (L): Volume de água consumido, em litros/mês; Area_cafe (ha): Área total de terra disponível para cultivo, em hectares; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra, em reais.

Fonte: Do autor (2022)

De acordo com o Quadro 3, a partir dos valores registrados pelos autovetores e correlações das variáveis originais selecionadas foi possível a criação de quatro índices de desempenho para a análise do ano safra 2018-2019. Dessa maneira, foi desenvolvido um índice para o *input* Qtd_M altamente correlacionado a CP2, um para os *inputs* selecionados para a CP1 (Agua_cons e Tam_prop), um para o *input* Area_cafe mais correlacionado a CP3 e um para o único *output* considerado nesta análise (Rend_prop) pertencente a CP1.

Para o ano safra de 2020-2021 foram replicadas as análises de modo que foram obtidos seis índices de desempenho global a partir das variáveis altamente correlacionadas com CP1, CP2 e CP3, conforme representado no Quadro 4.

Quadro 4– Índices de desempenho global gerados a partir das variáveis altamente correlacionadas com CP1, CP2 e CP3 considerando o ano safra de 2020-2021

Variáveis		Componente Principal	Índice de Desempenho Global
<i>Input</i>	Cred_financ	CP3	Índice de desempenho quanto a dependência de agentes financeiros
<i>Input</i>	Area_cafe	CP1	Índice de desempenho na distribuição geográfica da produção
<i>Input</i>	QtdInsum_prod	CP2	Índice de desempenho na redução de insumos químicos
<i>Input</i>	Cred_financ	CP3	Índice de desempenho quanto a dependência de agentes financeiros
<i>Output</i>	Rend_tec	CP2	Índice de desempenho em inovação para inserção de modelos sustentáveis de produção
<i>Output</i>	AdOrgan_prod	CP3	Índice de desempenho na reinserção de resíduos gerados na produção
<i>Output</i>	Rend_prop	CP1	Índice de desempenho econômico baseado na renda bruta da propriedade

Area_cafe: Área total de terra disponível para cultivo; Cred_financ: Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito; AdOrgan_prod: Quantidade de adubo orgânico produzido; QtdInsum_prod: Quantidade de insumos utilizada por saca produzida; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra; Rend_tec: Renda anual gasta em investimento em tecnologia.

Fonte: Do autor (2022)

Conforme apresentado no Quadro 4, foram criados um índice de desempenho para cada variável abordada. Isto se justifica, pois em cada dimensão de desempenho foram contemplados um *input* e um *output*, o que inviabilizou a união dessas variáveis originais para a geração dos índices de forma a respeitar os requisitos de aplicação da técnica *DEA*, ou seja, o modelo *BCC* orientado a *outputs*.

4.4 Análise Envoltória de Dados (DEA)

A aplicação da técnica de Análise Envoltória de Dados contempla o segundo estágio desta pesquisa. Deste modo, conforme a utilização do modelo *BCC* mais especificamente o modelo *Superefficiency* de Banker e Chang (2006), foram apresentados os escores de eficiência técnica pura bem como os alvos das respectivas variáveis originais abordadas. Vale ressaltar a desconsideração de *outliers* do processo, o que favorece uma análise mais realista do contexto

de produção de cafés do tipo Arábica e *Conilon* nas 12 regiões brasileiras elucidadas. Desta maneira, a existência de *gaps* entre valores reais e alvos permite uma reflexão individual para cada *input* e *output* abordados sobre planos de ação e possíveis alternativas de melhoria na produtividade como um todo, sendo realizada com mais afinco nas discussões deste estudo.

4.4.1 Análise da eficiência técnica pura por meio da aplicação do modelo *Superefficiency* de *Banker* e *Chang* com orientação ao *output*

A análise de eficiência sob a perspectiva do modelo de supereficiência de *Banker* e *Chang* permitiu a identificação de unidades amostrais com falsas eficiências (*outliers*), ou seja, que ultrapassaram o limite estipulado para a fronteira de eficiência de 120%. Desta forma, foram considerados para a análise de eficiência do ano safra de 2018-2019 apenas os produtores 1, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 26, 27, 28, 29, 32 e 33; e eliminados os produtores 2, 3, 4, 10, 11, 15, 21, 22, 24, 25, 30 e 31, que representam juntos 12 das 33 unidades amostrais consideradas inicialmente ou 36,3%. Em seguida, de acordo com a Tabela 11, as unidades amostrais foram divididas em dois grupos (*inliers* e *outliers*), tornando-se possível avaliar o desempenho médio destes grupos em cada variável original abordada para a análise de eficiência do ano safra de 2018-2019.

Tabela 11 – Valores médios das características referentes aos grupos compostos pelos produtores *inliers* e *outliers* considerando o ano safra de 2018-2019

Produtores	Variáveis				
	Inputs				Output
	Qtd_M	Tam_prop (ha)	Agua_cons (L)	Area_cafe (ha)	Rend_prop
<i>Inliers</i>	28%	105,809	261.333,333	27,619	R\$ 187.977,68
<i>Outliers</i>	18%	61,475	111.825	40,285	R\$ 695.330,58

Qtd_M: Quantidade de mulheres; Tam_prop (ha): Tamanho total da propriedade, em hectares; Agua_cons (L): Volume de água consumido, em litros/mês; Area_cafe (ha): Área total de terra disponível para cultivo, em hectares; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra, em reais.

Fonte: Do autor (2022)

A partir das informações apresentadas na Tabela 11, pode-se destacar os valores médios do agrupamento *inliers* para os *inputs* Qtd_M, Tam_prop e Agua_cons; e do agrupamento *outliers* para o *input* Area_cafe e o único *output* Rend_prop. No caso da quantidade de mulheres (Qtd_M), o agrupamento *inliers* apresentou uma superioridade de 10 pontos percentuais no valor médio em relação aos *outliers*. Isso revela uma maior participação da força de trabalho no campo de análise. Todavia, ainda corresponde a um baixo volume de absorção no mercado

de trabalho, indicando a presença de uma lacuna a ser explorada no contexto da produção de café no Brasil.

Se tratando dos *inputs* Tam_prop e Agua_cons, ambos apresentaram um valor médio muito superior ao praticado pelo agrupamento de *outliers*, muito embora, pode-se inferir sobre a existência de uma proporcionalidade de crescimento entre estas variáveis. Além disso, o agrupamento dos *inliers*, que correspondem a maioria das unidades amostrais, indicaram pelo desempenho nestas variáveis que o consumo elevado de água pode estar associado a práticas de irrigação como estratégia de ampliação da produtividade. Outro aspecto interessante corresponde a análise desses dois agrupamentos sob a perspectiva de desempenho nas variáveis Area_cafe e Rend_prop. Nesse sentido, foram observados altos valores médios em ambas as variáveis para o agrupamento de *outliers*, indicando também uma possível proporcionalidade entre estas. Entretanto, estes valores médios elevados ocorreram em propriedades que obtiveram valores reduzidos para a variável Tam_prop, sugerindo uma possível alta na produtividade destas propriedades.

Com base na Tabela 12, foram analisados o desempenho dos agrupamentos de *inliers* e *outliers* para as variáveis consideradas no ano safra 2020-2021. Sendo assim, para este ano foram considerados como *inliers* os produtores 1, 3, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30 e 33; e como *outliers* os produtores 2, 4, 5, 6, 7, 12, 25, 26, 31 e 32, que representam 30,3% do volume amostral inicial.

Tabela 12 – Valores médios das características referentes aos grupos compostos pelos produtores *inliers* e *outliers* considerando o ano safra de 2020-2021

Produtores	Variáveis					
	Inputs			Outputs		
	Area_cafe (ha)	Cred_financ	AdOrgan_prod (kg)	QtdInsum_prod	Rend_prop	Rend_tec (%)
<i>Inliers</i>	29,410	R\$ 74.347,83	47.828,170	R\$ 203,54	R\$ 559.047,32	18,04%
<i>Outliers</i>	39,390	R\$ 102.000,00	268.000,000	R\$ 171,05	R\$ 1.085.619,35	63,50%

Area_cafe: Área total de terra disponível para cultivo; Cred_financ: Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito; AdOrgan_prod: Quantidade de adubo orgânico produzido; QtdInsum_prod: Quantidade de insumos utilizada por saca produzida; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra; Rend_tec: Renda anual gasta em investimento em tecnologia.

Fonte: Do autor (2022)

Desta forma, considerando as informações da Tabela 12, foram registrados valores médios superiores no agrupamento de *outliers* para os três *inputs* considerados, a saber, Area_cafe, Cred_financ e AdOrgan_prod. Além disso, dentre estes resultados, a variável AdOrgan_prod chama atenção apresentando o maior distanciamento entre os valores médios de ambos agrupamentos, uma diferença de aproximadamente 220.000 quilos de adubo orgânico produzidos a mais para os *outliers*. Isto pode se relacionar ao contexto de supereficiência

alcançado por alguns *outliers* na medida que intensificaram sua produção com a utilização de quantidades maiores de adubo orgânico.

No que corresponde aos *outputs* QtdInsum_prod, Rend_prop e Rend_tec, apenas a variável Quantidade de insumos utilizada por saca produzida (QtdInsum_prod) apresentou uma superioridade de seu valor médio para o agrupamento de *inliers*, sendo que os demais apresentaram o cenário oposto. Essa configuração indica a ocorrência de um retorno econômico elevado para áreas um pouco maiores e que utilizam em sua maioria a adubação orgânica. Além disso, os resultados de desempenho das variáveis Cred_financ e Rend_tec apresentaram concordância, ao passo que muitos produtores realizaram aportes em instituições financeiras para a realização de investimentos em áreas diversas da propriedade inclusive na inserção e ampliação de práticas sustentáveis na produção. Conforme os dados apresentados, para a variável Rend_tec foi verificado uma superioridade de cerca de 45% para o agrupamento *outliers* em relação aos *inliers*.

A fim de melhor caracterizar a análise dos produtores *inliers*, estes foram divididos em 3 grupos, onde os escores de eficiência técnica pura puderam ser calculados. Frente a isso, a Tabela 13, indica os valores médios dos *inputs* e do *output* para os grupos formados a partir dos escores de eficiência considerando o ano safra de 2018-2019.

Tabela 13 – Valores médios dos *inputs* e do *output* para os grupos formados a partir dos escores de eficiência considerando o ano safra de 2018-2019

Grupos	Variáveis					Escores médios de eficiência
	Inputs				Output	
	Qtd_M	Tam_prop (ha)	Agua_cons (L)	Area_cafe (ha)	Rend_prop	
Grupo I	28%	43,875	81.750	14,9	R\$ 88.348,77	80,02%
Grupo II	20%	980	2.000.000	35	R\$ 590.000,00	100,00%
Grupo III	28%	135	545.000	76,5	R\$ 485.987,75	79,93%

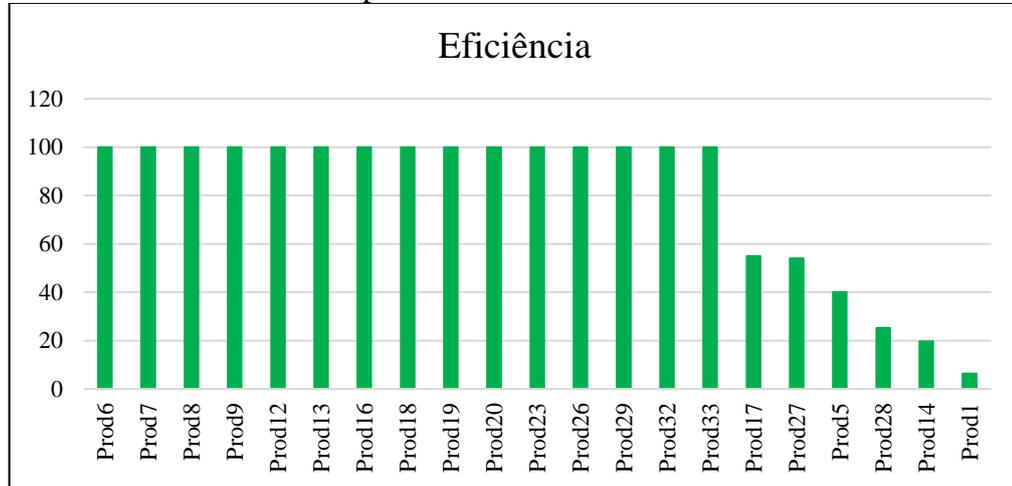
Qtd_M: Quantidade de mulheres; Tam_prop (há): Tamanho total da propriedade, em hectares; Agua_cons (L): Volume de água consumido, em litros/mês; Area_cafe (há): Área total de terra disponível para cultivo, em hectares; Rend_prop: Renda anual da propriedade por safra, em reais.

Fonte: Do autor (2022)

Desta maneira, o Grupo I foi composto pelos produtores 1, 5, 8, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 26, 27, 28, 29, 32, 33; o Grupo II pelo produtor 6; e o Grupo III pelos produtores 7, 9, 12, 14. Neste contexto, apenas o Grupo II obteve pontuação máxima atingindo a fronteira de eficiência, muito embora, uma vez que o Grupo I abrange 76,2% das unidades amostrais analisadas há que considerar a existência de flutuações entre os valores de eficiência individuais

entre estas, o que reduz a média de eficiência do grupo. Assim, o Gráfico 1 permite uma análise caso a caso quanto a eficiência dos produtores considerando o ano safra de 2018-2019.

Gráfico 1 – Eficiência dos produtores considerando o ano safra de 2018-2019



Fonte: Do autor (2022)

De acordo com o Gráfico 1, 15 produtores se mostraram eficientes atingindo a fronteira estipulada de 100%, este quantitativo corresponde a 71,4% de todos os *inliers* considerados no ano safra 2018-2019. Além disso, se tratando dos produtores considerados ineficientes, apenas 5 produtores do Grupo I e 1 produtor do Grupo III (produtor 14, com eficiência de 19,72%) não alcançaram a fronteira de eficiência. No caso do Grupo I, os produtores ineficientes foram: 1, 5, 17, 27 e 28, com eficiências de 6,29%, 39,96%, 54,92%, 54,03% e 25,25% respectivamente.

Observando o cenário apresentado, no Grupo I foram obtidos os menores valores médios para todas as variáveis originais consideradas, exceto, para o *input* Qtd_M. Entretanto, este grupo se destacou, obtendo a segunda maior eficiência técnica pura média entre os três grupos analisados. Isso indica uma melhor gestão de recursos pelos produtores do Grupo I em relação aos do Grupo III, mostrando que a eficiência não está diretamente associada a grandes propriedades e ao elevado consumo de água.

Em relação ao Grupo II, pode-se inferir o distanciamento de eficiência do produtor 6 das demais unidades amostrais consideradas, uma vez que este utiliza uma produção semimecanizada, um alto consumo de água a partir de sistemas de irrigação e um uso frequente de adubação química e orgânica. Vale ressaltar que este consumo elevado de recursos é realizado para uma área produtiva pequena de apenas 35 hectares quando comparada ao tamanho total da propriedade (980 hectares). Desta forma, este produtor tem uma renda superior a média dos demais grupos, mas também um maior custo de produção envolvido.

O Grupo III, merece um destaque para o *input* *Area_cafe* que apresentou a maior cobertura de produção considerando a quantidade de áreas disponíveis para o plantio de café em relação a área total da propriedade, cerca de 56% de cobertura territorial. No entanto, este grupo apresentou uma eficiência menor dentre os três grupos analisados, pois houve uma discrepância de desempenho entre suas unidades amostrais. Apenas o produtor 14 deste grupo (Grupo III) apresentou uma eficiência diferente de 100%, entretanto, trata-se de uma unidade amostral dotada de um sistema mecanizado de produção, que realiza investimentos em tecnologia de produção sustentável e faz uso de irrigação. Neste âmbito, o histórico de ocorrências de geadas em regiões do Sudeste do Brasil ao final de 2019 pode estar relacionado a esta unidade por estar localizada no estado de São Paulo, ademais, observa-se uma baixa capacidade produtiva nesta unidade para o ano safra de 2018-2019 o que potencializa a confirmação desta hipótese.

Do mesmo modo, para o ano safra de 2020-2021 foi realizada a divisão dos *inliers* em grupos, de modo que o Grupo I foi composto pelos produtores 1, 3, 8, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 28, 29, 30, 33; o Grupo II pelos produtores 9, 10 e 24; e o Grupo III apenas pelo produtor 18, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores médios dos *inputs* e dos *outputs* para os grupos formados a partir dos escores de eficiência considerando o ano safra de 2020-2021

Grupos	Variáveis			Escores médios de eficiência
	Inputs			
	Area_cafe (ha)	Cred_financ	AdOrgan_prod (kg)	
Grupo I	16,710	R\$ 79.473,68	50.052,630	86,29%
Grupo II	113,670	R\$ -	46.349,333	100,00%
Grupo III	18,000	R\$ 200.000,00	10.000	100,00%
Grupos	Outputs			Escores médios de eficiência
	QtdInsum_prod	Rend_prop	Rend_tec (%)	
Grupo I	R\$ 206,39	R\$ 264.243,81	16,58%	86,29%
Grupo II	R\$ 207,30	R\$ 2.566.235,00	16,67%	100,00%
Grupo III	R\$ 137,90	R\$ 138.751,00	50%	100,00%

Area_cafe: Área total de terra disponível para cultivo; *Cred_financ*: Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito; *AdOrgan_prod*: Quantidade de adubo orgânico produzido; *QtdInsum_prod*: Quantidade de insumos utilizada por saca produzida; *Rend_prop*: Renda anual da propriedade por safra; *Rend_tec*: Renda anual gasta em investimento em tecnologia.

Fonte: Do autor (2022)

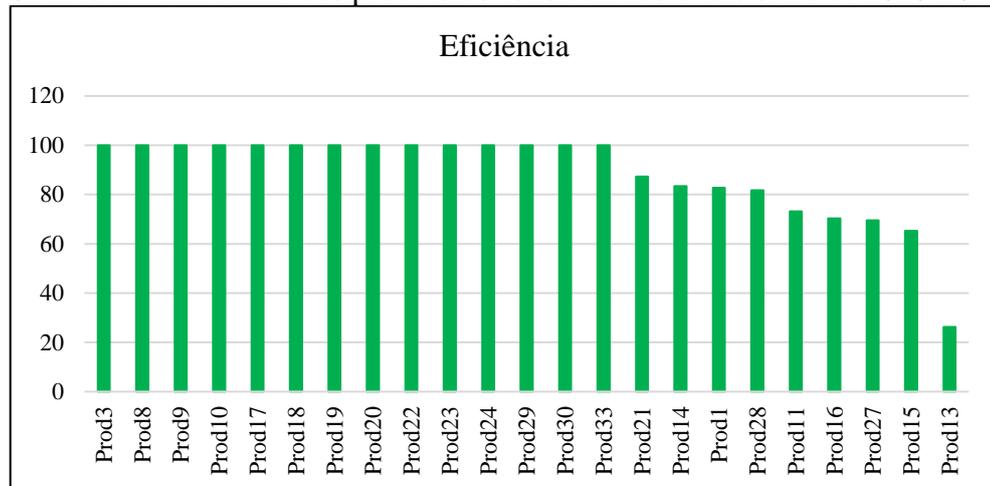
A análise da Tabela 14, indica a classificação dos produtores *inliers* pertencentes aos Grupos II e III como eficientes, uma vez que atingiram a fronteira de eficiência de 100%. Neste momento, é importante salientar sobre os caminhos destes dois grupos para o alcance da

eficiência. O Grupo II apresentou uma maior área para o cultivo de café, não fez uso de crédito concedido por agentes financeiros e produziu uma quantidade satisfatória de adubo de origem orgânica para a reincorporação na produção. Entretanto, em relação aos *outputs* abordados, o Grupo II apresentou o maior consumo dentre os 3 grupos para a utilização de insumos químicos bem como a maior renda. Vale ressaltar seu desempenho quanto à variável *Rend_tec*, haja vista que não apresentou um quantitativo elevado para investimentos em tecnologias, principalmente voltadas para a produção sustentável.

Em contrapartida, conforme a Tabela 14, o Grupo III apresentou uma pequena área disponível para o cultivo de café, fez uso de crédito concedido por agentes financeiros e apresentou a maior proporção de adubação orgânica por hectare, na ordem de 555 quilos/ha. Já quanto ao seu desempenho nos *outputs* analisados, o Grupo III apresentou o menor consumo de insumos químicos dentre os três grupos e o maior percentual de renda investido em tecnologias no campo sustentável. Todavia, ainda assim este obteve uma renda reduzida comparado aos demais grupos, que pode estar associada a eventos climáticos indesejáveis e ao contexto da pandemia por Covid-19, uma vez que este grupo (Grupo III) é formado pelo produtor 18 que está localizado no estado de Minas Gerais, região fortemente afetada por estes aspectos, além de ser um produtor que preza pela utilização de sistemas manuais de cultivo.

A partir desse cenário, torna-se mais claro a configuração dos produtores e de seus desempenhos quanto às variáveis originais abordadas. Nessa perspectiva, o Gráfico 2 representa de maneira mais detalhada as eficiências dos produtores considerando o ano safra de 2020-2021.

Gráfico 2 – Eficiência dos produtores considerando o ano safra de 2020-2021



Fonte: Do autor (2022)

Frente a isso, 14 produtores dos 23 *inliers* considerados foram considerados eficientes, o que corresponde a 61% aproximadamente das unidades amostrais desta análise. Além disso, se tratando dos produtores ineficientes, estes corresponderam aos produtores 1, 11, 13, 14, 15, 16, 21, 27 e 28, todos pertencentes ao Grupo I. Assim, cabe lembrar o desempenho deste em relação às variáveis contempladas, que conforme a Tabela 14 apresentou a menor área disponível para cultivo de café, fez uso de crédito concedido por agentes financeiros e produziu a maior proporção de adubo orgânico dentre os três grupos, na ordem de 2.994 quilos/ha. Muito embora, em relação aos *outputs*, este apresentou um dos maiores gastos com insumos químicos e o menor percentual de investimento em tecnologias sustentáveis. No que corresponde a variável *Rend_prop*, o Grupo I obteve a segunda maior renda dentre os três grupos, entretanto, não foi suficiente para o alcance de uma eficiência plena, atingindo um quantitativo de 86,29%.

Em prosseguimento desta análise vale destacar os produtores que obtiveram os menores desempenhos de eficiência técnica pura para o ano safra de 2020-2021 conforme exposto no Gráfico 2, no caso, os produtores 13 e 15. Tratam-se de produtores da região Sudeste do Brasil, especificamente, do estado de São Paulo que é um dos grandes produtores do café Arábica brasileiro. Neste sentido, o produtor 13 caracteriza-se por um sistema de produção mecanizado, já o produtor 15 utiliza o sistema manual. Apesar de serem coincidentes quanto a região abordada, estes apresentaram uma diferença de eficiência de cerca de 39%, tendo o sistema manual um desempenho superior. A partir deste momento algumas considerações podem ser realizadas como, o fato do produtor 13 obter altos custos com insumos químicos utilizados e energia elétrica, mesmo não utilizando métodos de irrigação. Ademais, tratou-se de uma região pequena em área de cultivo e que obteve uma baixa capacidade de produção por hectare, cerca

de 5 sacas/ha, em razão provavelmente de períodos extensos de seca observados ao longo deste ano safra.

4.4.2 Síntese dos alvos para os *inputs* e *outputs* resultantes da aplicação do modelo *Superefficiency* com orientação ao *output*

A análise da eficiência técnica pura realizada anteriormente permitiu a identificação de unidades amostrais ineficientes, especificamente, 6 produtores no ano safra 2018-2019 e 9 produtores no ano safra 2020-2021. Embora não sejam coincidentes as variáveis originais analisadas nestes dois anos, vale ressaltar a queda de eficiência geral na passagem de um ano safra para o outro em decorrência de aspectos climáticos, econômicos e de saúde pública. Para tanto, nesta etapa do estudo acentua-se a síntese de alvos para *inputs* e *outputs* nestas unidades como forma de nortear estas unidades para o reestabelecimento de suas eficiências.

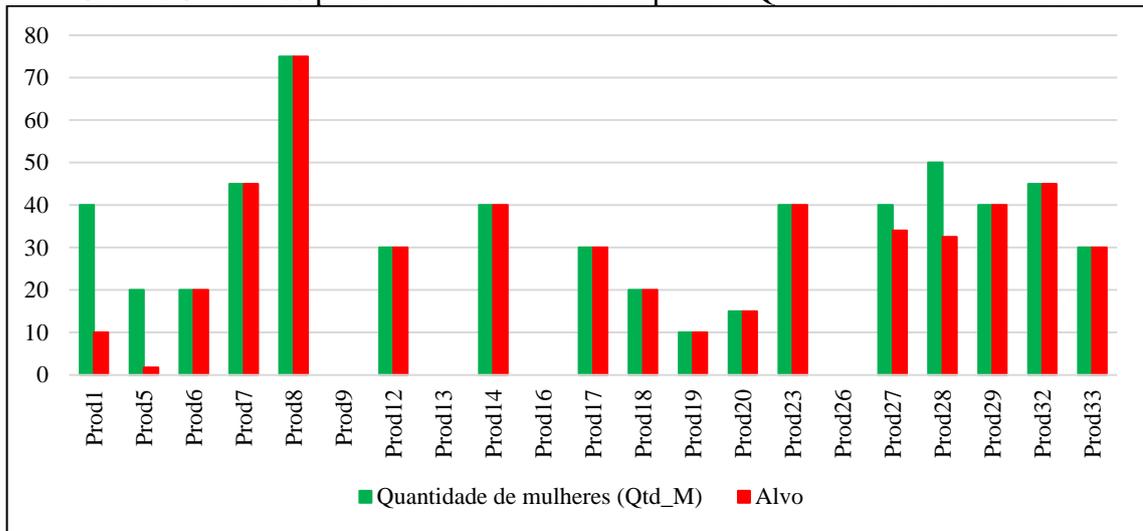
4.4.2.1 Índices de desempenho global considerando o ano safra de 2018-2019

Esta seção se dedica a apresentação dos índices de desempenho para o ano safra de 2018-2019.

4.4.2.1.1 Índice de desempenho global resultante do *input* “Quantidade de mulheres”

A partir dos *inputs* considerados para análise do ano safra de 2018-2019 pode-se ressaltar a variável Quantidade de mulheres (Qtd_M) da dimensão “Demográfica”, a qual esteve altamente correlacionada a CP2. Dessa forma, foi possível o desenvolvimento do “Índice de desempenho da mão de obra”. A contratação de mão de obra trata-se de uma etapa importante para a garantia de eficiência das propriedades, uma vez que a incorporação do sistema manual de cultivo favorece o atingimento de um nível de qualidade superior do produto e, sobretudo, o aumento da receita anual, visto que a qualidade está diretamente associada a melhores preços do produto. O Gráfico 3 apresenta de forma detalhada os alvos para cada unidade amostral abordada em relação a este *input*.

Gráfico 3 – Alvos para o indicador de desempenho “Quantidade de mulheres”



Fonte: Do autor (2022)

Com base no Gráfico 3, apenas 4 dos 21 *inliers* não apresentaram valores coincidentes com os alvos apresentados para a variável Qtd_M. Dessa forma, recomenda-se para a manutenção da eficiência neste *input*, que cerca de 81% destes *inliers* mantenham constantes seus valores obtidos nesta variável (Qtd_M). No caso dos produtores ineficientes, estes corresponderam aos *inliers* 1, 5, 27 e 28. Nesses casos, recomenda-se que haja reduções no quantitativo de mulheres na ordem de 75%, 91,4%, 15% e 35% respectivamente. Tal fato contrapõe os princípios de igualdade de gênero para as atividades de produção na cafeicultura, uma vez que nestas unidades amostrais foi verificada uma predominância na quantidade de homens em diversas atividades. No entanto, sob a ótica de redução de custos com mão de obra estas medidas se tornam pertinentes para o alcance de melhores escores de eficiência.

Além disso, pode-se inferir que a CP2 juntamente com este índice de desempenho contempla as informações mais significativas a serem consideradas para a melhoria de desempenho destas unidades amostrais ineficientes no campo de análise da força de trabalho necessária para a produção de café. Dessa forma, espera-se que o desempenho ideal para este índice corresponda à redução de custos com mão de obra direta e indireta nas unidades amostrais abordadas, favorecendo o reinvestimento de recursos em outros setores de produção.

Cabe ressaltar a dificuldade existente pelos produtores na contratação de pessoal qualificado para determinadas atividades, principalmente, àquelas relacionadas a cargos de gestão. Para tanto, estes produtores incentivam a condução de treinamentos em suas propriedades como forma de elevar o nível de capacitação da mão de obra já existente. Esta alternativa tem apresentado retornos positivos tanto no âmbito econômico por se tratar em sua

maioria de cursos financiados em parte por órgãos governamentais como a CNA e o Senar, quanto no âmbito estrutural a partir da formação de equipes mais qualificadas. Além do mais, a possibilidade do recebimento de certificações significa uma forma de garantir um emprego melhor para esta força de trabalho, promovendo assim, o engajamento de mais pessoas.

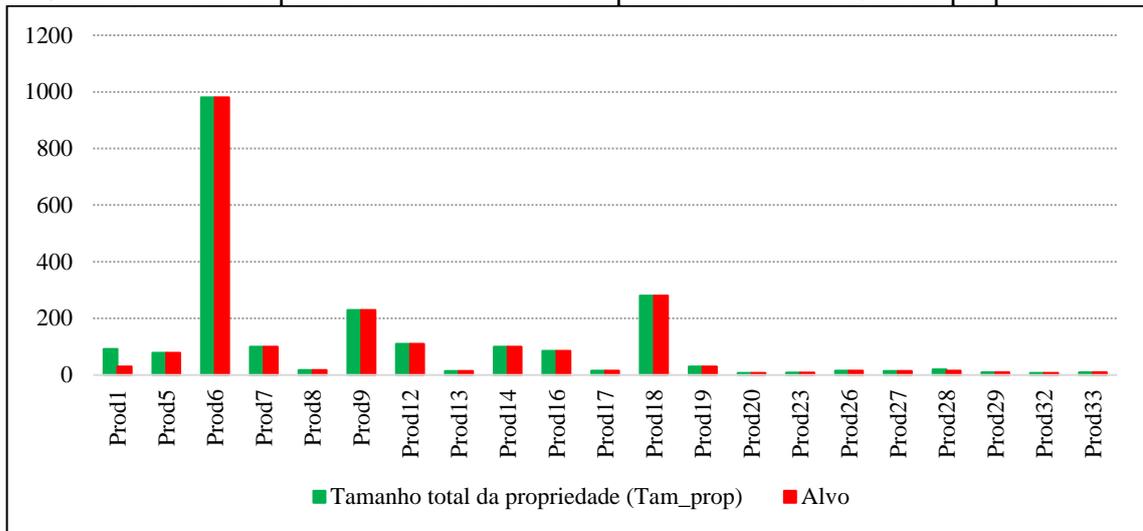
Todavia, considerando o contexto da produção de café no Brasil, alguns fatores acabam dificultando a permanência desta mão de obra no campo. Primeiramente, a questão do êxodo rural fortalecido por melhores oportunidades de trabalho no ambiente urbano. Além disso, o fato do café se tratar de uma cultura sazonal, com apenas uma safra realizada por ano, o que reduz as chances de se obter uma renda contínua e fixa durante esse período. Cabe lembrar que nos casos da mão de obra dedicada a atividades de colheita, esta receberá proporcionalmente a quantidade de café colhido, ficando dependente por exemplo da produtividade anual da propriedade.

Por fim, ressalta-se uma concordância entre a quantidade de unidades amostrais eficientes e a predominância de sistemas manuais no campo amostral. Para este ano safra foram identificados 17 produtores eficientes nesta variável (Qtd_M), isso demonstra um alto nível de rigor destes quanto às contas de duas propriedades, haja vista que há uma dependência de sistemas manuais para esta maioria de produtores, muito embora, estes buscam operar no limite mínimo de contratação de pessoal a fim de reduzir os custos envolvidos na produção.

4.4.2.1.2 Índice de desempenho global resultante da combinação dos *inputs* “Tamanho total da propriedade” e “Volume de água consumida”

O índice de desempenho global formado pelos *inputs* “Tamanho total da propriedade” e “Volume de água consumida” correspondeu ao “Índice de desempenho na preservação de recursos hídricos”. Vale lembrar que estes *inputs* estiveram mais correlacionados a CP1 e pertencem as dimensões “Agrícola” e “Economia Circular” respectivamente. O tamanho da propriedade trata-se de uma variável que de maneira isolada não reflete a situação de um produtor quanto a eficiência geral alcançada, sendo necessário o acompanhamento de outros indicadores como a capacidade produtiva, área destinada para o cultivo de café, renda da propriedade, custos operacionais efetivos, entre outras. Frente a isso, o Gráfico 4 representa os alvos para o indicador de desempenho “Tamanho total da propriedade”.

Gráfico 4 – Alvos para o indicador de desempenho “Tamanho total da propriedade”

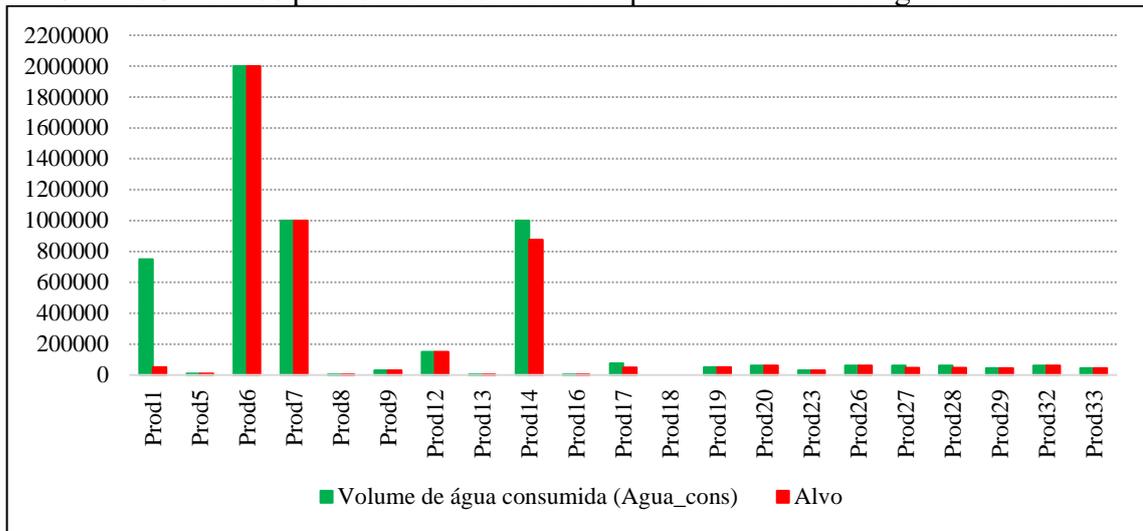


Fonte: Do autor (2022)

Neste contexto, apenas os produtores 1 e 28 não obtiveram a eficiência requerida para o *input* Tam_prop, sendo aconselhada a redução deste quantitativo em 67,4% e 25% do seu volume territorial respectivamente. Tal medida possibilita o aumento de áreas de preservação ambiental, reestabelecimento de matas virgens em áreas degradadas, bem como a conservação de recursos hídricos nestas áreas e da fauna existente. Outrossim, promove a redução de custos de manutenção produtiva da terra e beneficia a criação de uma cultura organizacional mais eficiente focada no aumento da produtividade, uma vez que este aspecto não está diretamente vinculado ao tamanho de cada propriedade. Além do mais, isso indica que quase a totalidade das unidades amostrais operam com a quantidade exata deste *input*, o que confirma ainda mais o fato desta variável isolada não determinar a eficiência de um produtor em relação a outro.

Em adição a esta análise, o Gráfico 5 contempla os alvos para o indicador de desempenho “Volume de água consumida”. Aliás, esta variável contribui com os resultados deste estudo abordando uma das dimensões importantes para o campo do desenvolvimento sustentável sob a ótica da dimensão “Economia Circular”. O consumo consciente dos recursos hídricos a partir da redução de desperdícios, tratamento e reaproveitamento de água pelos produtores garante a estes melhores condições de operação da propriedade em períodos de seca.

Gráfico 5 – Alvos para o indicador de desempenho “Volume de água consumida”



Fonte: Do autor (2022)

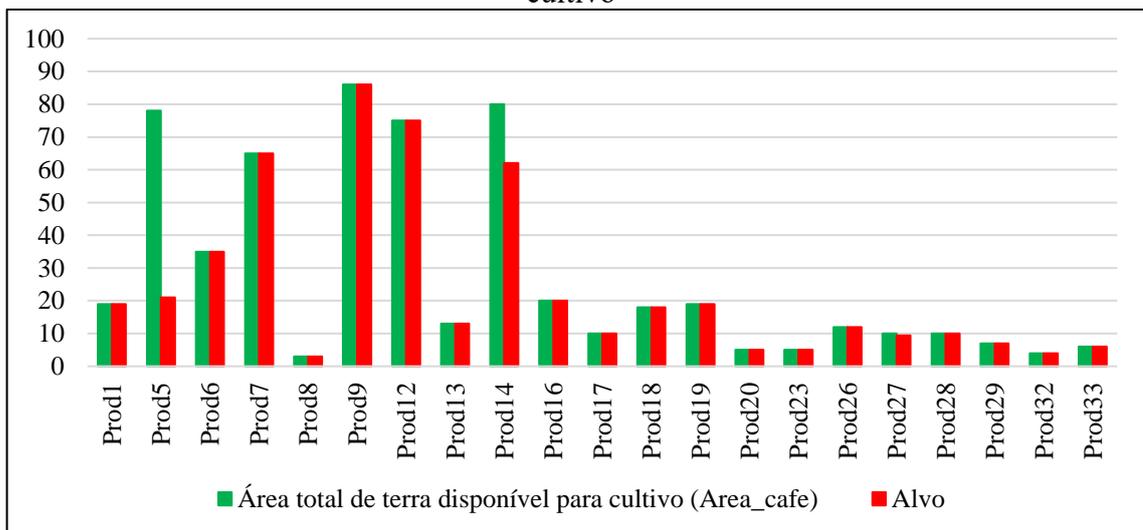
Nesta oportunidade, de acordo com o Gráfico 5 os produtores 1, 14, 17, 27 e 28 foram ineficientes quanto ao desempenho deste *input* (Agua_cons). Por isso, recomenda-se a redução destes consumos na ordem de 93,3%, 12,4%, 36,6%, 23,3% e 22,9% respectivamente, como estratégia de atingimento da fronteira de eficiência nestas unidades amostrais. Posto isso, é interessante ressaltar sobre o produtor 1 que obteve o maior percentual de redução sugerida neste *input* e, sobretudo, foi a unidade amostral mais ineficiente das 21 unidades consideradas. Isso indica uma possível relação e contribuição deste *input* (Agua_cons) para a melhoria contínua das eficiências técnicas puras destes produtores. Neste âmbito, salienta-se que o desempenho satisfatório deste índice ampare a consideração de medidas de preservação e redução do consumo de recursos hídricos existentes nestas unidades.

Todavia, a redução destes quantitativos trata-se de uma medida difícil de ser implementada por alguns destes produtores em razão da sua dependência de sistemas de irrigação. Neste momento, acentua-se a ocorrência de uma migração dos produtores para modelos automatizados de irrigação ao final deste ano safra, mesmo que o maior período de seca observado tenha sido registrado no próximo ano safra (2020-2021). Isso revela uma preocupação destes *inliers* quanto a garantia de seus plantios a fim de minimizar os impactos previstos relacionados às mudanças climáticas. Por fim, as práticas de reaproveitamento e tratamento de água ainda são quase inexistentes entre a maioria das unidades amostrais, indicando uma lacuna a ser explorada neste sentido.

4.4.2.1.3 Índice de desempenho global resultante do *input* “Área total de terra disponível para cultivo”

O índice relativo ao *input* “Área total de terra disponível para cultivo” possibilitou a criação do “Índice de desempenho na distribuição geográfica da produção”. Espera-se que este índice favoreça a discussão para a alavancagem de desempenho de produtores ineficientes quanto as áreas utilizadas em suas propriedades para o plantio de café. Além disso, trata-se da única variável altamente correlacionada a CP3, pertencente a dimensão “Agrícola”. Para tanto, o Gráfico 6 expõe os alvos para o indicador de desempenho “Área total de terra disponível para cultivo” para os 21 *inliers* considerados.

Gráfico 6 – Alvos para o indicador de desempenho “Área total de terra disponível para cultivo”



Fonte: Do autor (2022)

Inicialmente, este índice também favorece a realização de análises secundárias relativas à capacidade produtiva da unidade amostral comparando com os valores alcançados por estas na variável *Tam_prop*. De acordo com o Gráfico 6 pode-se verificar a existência de apenas 4 produtores ineficientes neste *input*, a saber, os produtores 5, 14, 17 e 27, de forma que estes devem reduzir estas áreas em 73,1%, 22,4%, 0,2% e 6% respectivamente para o alcance de eficiência. Nesta oportunidade, considera-se importante salientar que estes produtores ineficientes para a variável *Area_cafe* apresentaram valores coincidentes com os alvos para a variável *Tam_prop*. Isso revela uma capacidade produtiva atual reduzida para estas unidades amostrais, o que acarreta em um volume maior dos custos de produção. Sendo assim, uma

redução do quantitativo de *Area_cafe* significaria no aumento desta capacidade produtiva uma vez que seriam mantidos o nível de recursos aplicados na produção.

Assim, entende-se que a melhoria deste índice está ligada ao fortalecimento da capacidade produtiva de cada unidade amostral, a partir do investimento proporcionalmente devido de recursos produtivos. Desta maneira, propriedades de diferentes volumes territoriais totais se tornam comparáveis através desta análise de capacidade, podendo existir propriedades menores e mais eficientes que outras sob o campo da produtividade observada.

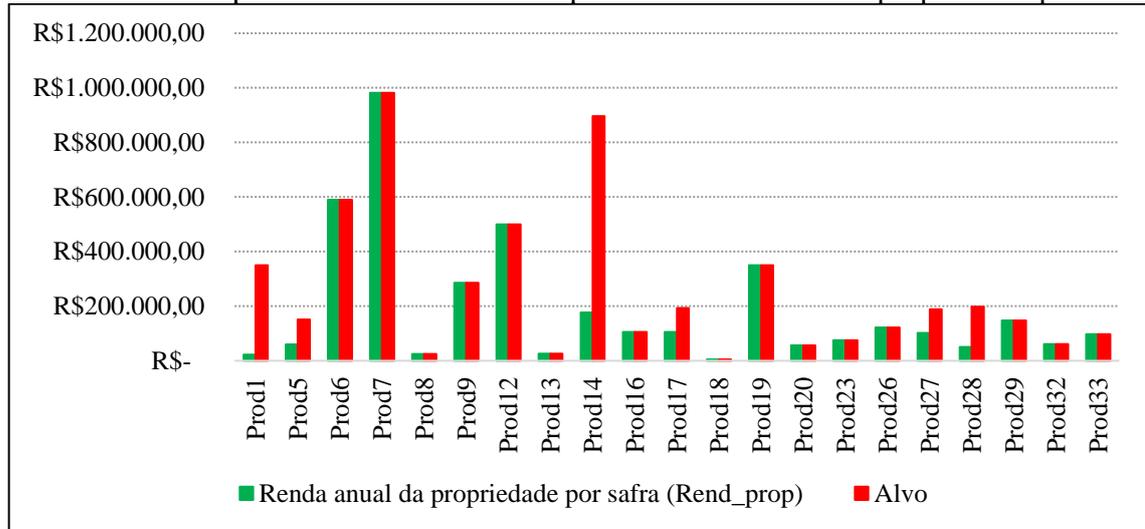
A fim de intensificar esta capacidade de produção muitos destes produtores investiram na aquisição de sistemas de irrigação e na compra de insumos químicos. Este cenário contribuiu para a alta dos custos de produção destes, podendo ter relação tanto com a aquisição de crédito rural neste período por grande parte destes *inliers* quanto com a ocorrência de eventos climáticos indesejáveis que danificaram as áreas plantadas, reduzindo a produtividade destes no período analisado.

No entanto, acentua-se a ocorrência de um número maior de áreas de preservação ambiental em relação às áreas degradadas. Nesta perspectiva, a maioria destes produtores apresentam ao menos 1 hectare destinado a reservas ambientais. Isso indica um avanço na dinâmica de produção do café no Brasil, quanto a consideração e entendimento da importância de preservação de recursos para o aumento de sua produtividade.

4.4.2.1.4 Índice de desempenho global resultante do *output* “Renda anual da propriedade por safra”

No que corresponde ao único *output* considerado nesta análise, a variável *Rend_prop*, possibilitou a geração do “Índice de desempenho econômico baseado na renda bruta da propriedade”. Além do mais, tratou-se de uma variável pertencente a dimensão “Socioeconômica” e altamente correlacionada a CP1. Desse modo, a consideração de uma variável estritamente econômica contribui fortemente para o entendimento da realidade de produção de cada unidade amostral. Assim, o Gráfico 7 contempla os alvos para o indicador de desempenho “Renda anual da propriedade por safra”.

Gráfico 7 – Alvos para o indicador de desempenho “Renda anual da propriedade por safra”



Fonte: Do autor (2022)

Com base nos valores apresentados no Gráfico 7, os produtores ineficientes quanto ao desempenho no *output* Rend_prop foram os *inliers* 1, 5, 14, 17, 27 e 28. Ademais, para que estes tenham condições de alcançar a fronteira de eficiência é sugerido que criem condições internas na propriedade para a ampliação de suas rendas na ordem de 1490,9%, 150,3%, 407,2%, 82,1%, 85,1% e 296%. No caso das unidades amostrais 1, 14 e 28, estas obtiveram os maiores *gaps* entre o valor real e alvo, indicando uma maior ineficiência neste *output*. Todavia, há que se considerar que a renda bruta de um produtor está vinculada a capacidade produtiva de sua propriedade, o que depende da variável Area_cafe por exemplo, dentre outros recursos; e do preço pago ao produtor, este que sofre influência de fatores externos a produção, como variáveis econômicas, ambientais, cenários de crise, entre outras.

Com isso, a configuração ideal para a eficiência neste índice corresponde à maximização da renda de cada unidade amostral. De forma que a geração de uma maior renda traga condições para a melhoria estrutural e produtiva destes *inliers*. Outrossim, a relação deste *output* quanto aos seus alvos é inversa aos *inputs*, haja vista a metodologia do modelo *BCC* orientado a *output*. Ou seja, nesse instante busca-se pela maximização das saídas, onde os alvos apresentam superioridade de valor.

Cabe lembrar que as unidades amostrais que apresentaram as maiores rendas também obtiveram altos valores para as variáveis relacionadas ao tempo de experiência dos produtores e ao tempo de existência da propriedade. Isso revela que a experiência dos produtores é um aspecto relevante para o entendimento do mercado de café e contribui fortemente para a tomada de decisão na área. No entanto, vale ressaltar a ocorrência de crises ambientais ao final deste

ano safra, a partir de geadas e fortes chuvas, que dificultou a gestão destes produtores, visto que o comportamento histórico de preços não foi mais observado.

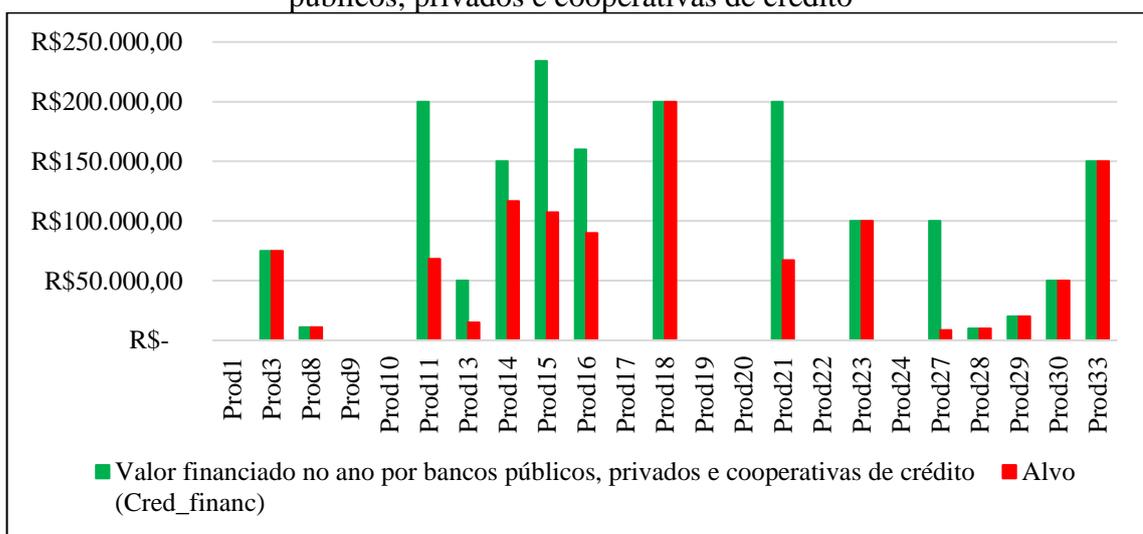
4.4.2.2 Índices de desempenho global considerando o ano safra de 2020-2021

Esta seção se dedica a apresentação dos índices de desempenho para o ano safra de 2020-2021.

4.4.2.2.1 Índice de desempenho global resultante do *input* “Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito”

O índice de desempenho resultante do *input* “Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito” possibilitou a criação do “Índice de desempenho quanto a dependência de agentes financeiros”. Este índice promove o entendimento do cenário de crise econômica vivenciado neste ano safra pelos produtores, onde o apoio de crédito foi fundamental para alguns produtores manterem as atividades em suas propriedades. Em adição a isto, este *input* representa uma variável altamente correlacionada a CP3 e pertence a dimensão “Agrícola”. Para tanto, o Gráfico 8 representa os alvos para o indicador de desempenho “Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito”.

Gráfico 8 – Alvos para o indicador de desempenho “Valor financiado no ano por bancos públicos, privados e cooperativas de crédito”



Fonte: Do autor (2022)

Desta maneira, os produtores 11, 13, 14, 15, 16, 21 e 27 não alcançaram os valores estipulados pelos alvos para o *input* Cred_financ, sendo considerados ineficientes neste aspecto. Para que alcancem a fronteira de eficiência recomenda-se que nestes *inliers* seja realizada uma redução do volume de crédito financiado em 65,9%, 70%, 22,2%, 54,1%, 43,8%, 66,4% e 91,3% respectivamente. Além do mais, dentre as unidades amostrais ineficientes destacam-se os produtores 13, 21 e 27 com as maiores reduções a serem realizadas para este *input*. No entanto, mesmo com os grandes aportes realizados por estas unidades amostrais, ainda assim mantiveram baixas capacidades de produção e retornos econômicos reduzidos.

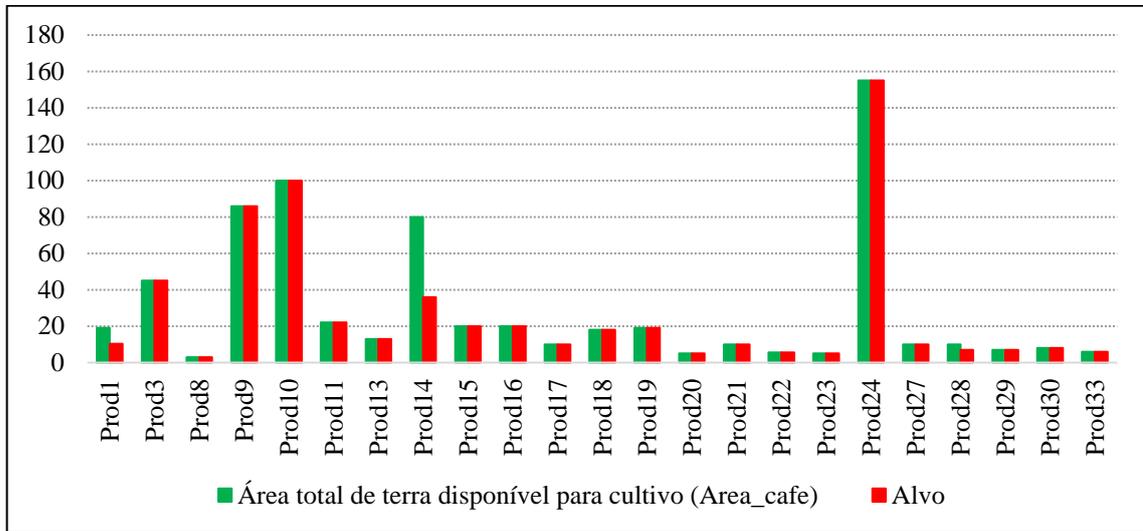
Por outro lado, 70% destes *inliers* foram eficientes quanto ao valor obtido no *input* Cred_financ, com destaque para a unidade amostral 18 que apresentou o maior valor e para as unidades 1, 9, 10, 17, 19, 20, 22 e 24 que não fizeram uso de crédito neste período de análise. Neste sentido, a aquisição de crédito pode significar um aumento dos custos e endividamento de produtores, principalmente em ocasiões de ocorrência de crises climáticas e econômicas, como verificadas para este ano safra. Aliás, a aquisição deste crédito tem sido praticada como estratégia de investimento em tecnologias e sistemas de produção por alguns produtores, no entanto, ainda assim, representaram iniciativas rasas e ineficientes como observado nos *inliers* 13, 15 e 21 por exemplo.

Diante a isso, considera-se como um cenário ideal para este índice a mitigação de recursos provenientes de programas de crédito, exceto nos casos em que são necessários de recursos para a manutenção das atividades primárias. Isso tem sua importância vinculada a um incentivo dado aos produtores na organização de seus investimentos a partir da renda bruta de sua propriedade. Uma vez que a única fonte de recursos destas unidades corresponde a receita de venda do café é aconselhável que haja um melhor planejamento e criação de margens de segurança em cada *inlier* analisado.

4.4.2.2 Índice de desempenho global resultante do *input* “Área total de terra disponível para cultivo”

A partir da variável “Área total de terra disponível para cultivo”, esta que apresentou alta correlação com a CPI e representa um *input* na dimensão “Agrícola” foi desenvolvido o “Índice de desempenho na distribuição geográfica da produção”. Cabe lembrar que esta variável juntamente com o *output* Rend_prop foram as únicas variáveis abordadas em ambas as análises dos anos safras de 2018-2019 e 2020-2021. Nesse sentido, o Gráfico 9, contempla os alvos para o indicador de desempenho “Área total de terra disponível para cultivo”.

Gráfico 9 – Alvos para o indicador de desempenho “Área total de terra disponível para cultivo”



Fonte: Do autor (2022)

De acordo com os dados abordados no Gráfico 9, apenas os produtores 1, 14 e 28 apresentaram ineficiência relacionada à variável Area_cafe. Assim, para que se tornem eficientes neste aspecto sugere-se uma redução deste quantitativo em cada unidade na ordem de 45,4%, 55% e 31% respectivamente. Desta forma, o produtor 14 se destacou por apresentar a maior necessidade de redução observada, fato que pode ser justificado por sua baixa capacidade produtiva e custos elevados com insumos. Por outro lado, 87% destes *inliers* obtiveram êxito neste *input* alcançando os alvos estipulados. Assim, considera-se que a melhor configuração deste índice remeta a propriedades com elevados escores de capacidade produtiva e baixos custos envolvidos na produção.

Posto isso, ressalta-se o fato da maioria das unidades amostrais eficientes (69,5%) neste *input* apresentarem valores reduzidos, abaixo de 40 hectares. Todavia, ainda houveram produtores eficientes como os *inliers* 9, 10 e 24 que apresentaram níveis superiores para o mesmo quantitativo acima de 80 hectares cultivados. Nestes casos, tratam-se de unidades amostrais que desempenham um trabalho focado na melhoria contínua de sua produção através de investimentos em tecnologia sustentável, sistemas de cultivo e utilizam uma proporção adequada de adubação orgânica e química.

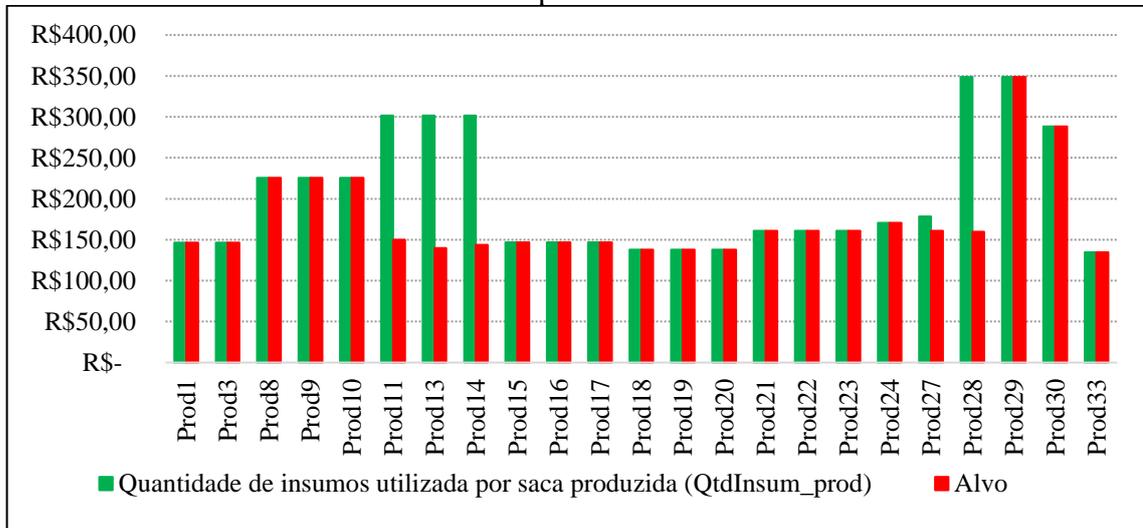
Nesta oportunidade, o alinhamento do consumo de recursos e da área utilizada para cultivo é de extrema importância para a manutenção de bons níveis de capacidade produtiva e redução de custos na propriedade. No caso dos *inliers* ineficientes, estes apresentaram valores elevados para as variáveis relacionadas ao volume de água e combustíveis fósseis consumidos,

por exemplo. No entanto, o fato de também apresentarem reduzidas capacidades produtivas não justifica o alto consumo destes outros recursos, representando um gargalo de produção a ser corrigido principalmente nas unidades amostrais, 1, 14 e 28.

4.4.2.2.3 Índice de desempenho global resultante do *input* “Quantidade de insumos utilizada por saca produzida”

Com base na variável “Quantidade de insumos utilizada por saca produzida” foi possível a criação do “Índice de desempenho na redução de insumos químicos”. Dessa forma, este índice promove colaborações no sentido de mitigar os impactos de metodologias de cultivo pautadas no uso de agroquímicos, incentivando sua minimização e substituição por formas de manejo sustentáveis. Para isso, o Gráfico 10 representa os alvos para o indicador de desempenho “Quantidade de insumos utilizada por saca produzida”. A variável *QtdInsum_prod* contemplou a dimensão de desempenho “Agrícola” e apresentou alta correlação com CP2.

Gráfico 10 – Alvos para o indicador de desempenho “Quantidade de insumos utilizada por saca produzida”



Fonte: Do autor (2022)

A análise do Gráfico 10, indica que apenas os *inliers* 11, 13, 14, 27 e 28 foram ineficientes em relação aos valores obtidos para a variável *QtdInsum_prod*. Posto isso, sugere-se que nestas unidades amostrais sejam realizadas reduções para este quantitativo na ordem de 50,3%, 53,7%, 52,4%, 9,9% e 54,2% respectivamente. Aliás, o uso em excesso de insumos químicos representa uma parcela significativa dos custos envolvidos na produção, principalmente para este ano safra (2020-2021) em que foram registradas altas consecutivas nos

preços de fertilizantes por exemplo. Dessa maneira, considera-se como um cenário favorável para este índice o alcance de níveis mínimos para a variável QtdInsum_prod de modo a fortalecer a dinâmica sustentável de produção de café no Brasil, incentivando a busca de novas alternativas agroecológicas para suplementação do substrato terrestre.

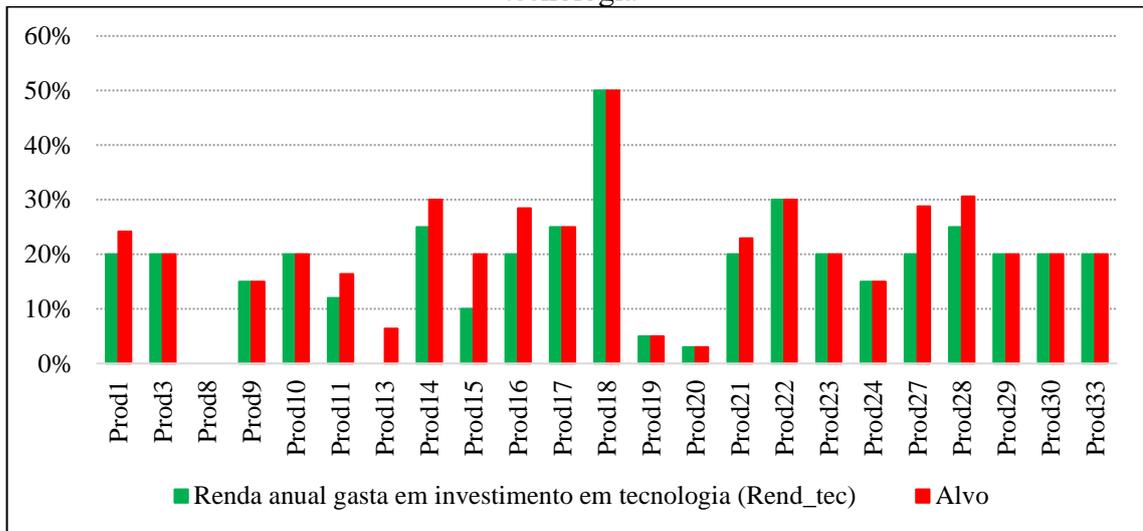
Muito embora, aproximadamente, 78,3% destes *inliers* apresentaram eficiência para a variável considerada (QtdInsum_prod). Sendo que destes produtores, cerca de 72% praticaram gastos com insumos inferiores a R\$ 170,00/saca produzida. Considerando a dinâmica dos preços pagos ao produtor, estas unidades apresentaram margens líquidas superiores que as demais. Vale ressaltar que em sua maioria, para os *inliers* considerados observou-se uma elevação da proporção de adubo orgânico/adubo químico utilizado em suas propriedades na passagem do ano safra 2018-2019 para o ano safra 2020-2021.

Diante destes apontamentos pode-se inferir uma preocupação destes produtores na manutenção da qualidade e quantidade produzida. No entanto, a alta destes insumos representou barreiras impostas a alguns destes *inliers*, de forma que foi necessário a redução da quantidade de adubo químico utilizado por exemplo. Ademais, cabe lembrar que esta decisão não incorreu em redução de custos em um primeiro momento, haja vista a alta no preço destes insumos que compensou esta redução. Assim, o ano safra de 2020-2021 foi demarcado pelo início de um processo de conscientização dos produtores a respeito da criação de alternativas mais econômicas para a substituição do uso de insumos químicos.

4.4.2.2.4 Índice de desempenho global resultante do *output* “Renda anual gasta em investimento em tecnologia”

No que corresponde ao *output* “Renda anual gasta em investimento em tecnologia”, este serviu de base para o desenvolvimento do “Índice de desempenho em inovação para inserção de modelos sustentáveis de produção”. Neste âmbito, considerando que se trata de uma variável pertencente a dimensão “Agrícola” e altamente correlacionada a CP2, mas que o objetivo agora constitui na sua maximização conforme o modelo *BCC* orientado a *output*, tem-se o Gráfico 11 que representa os alvos para o indicador de desempenho “Renda anual gasta em investimento em tecnologia”.

Gráfico 11 – Alvos para o indicador de desempenho “Renda anual gasta em investimento em tecnologia”



Fonte: Do autor (2022)

Assim, conforme o Gráfico 11, os produtores 1, 11, 14, 15, 16, 21, 27 e 28 apresentaram ineficiência quanto ao *output* Rend_tec, sendo recomendado nestes casos a ampliação de investimentos neste seguimento na ordem de 20,8%, 36,8%, 20%, 100%, 42,2%, 14,6%, 43,9% e 22,4% respectivamente. Frente a isso, subentende-se que o cenário ideal para este índice seja refletido por altos percentuais da renda bruta investidos exclusivamente em tecnologias no âmbito de produção sustentável.

Além do mais, observou-se uma predominância destes *inliers* no estabelecimento de tecnologias relacionadas a produção de energia limpa. Tal fato apresenta relação com as variáveis direcionadas ao consumo de combustíveis fósseis e ao consumo de energia elétrica das propriedades. Isso se justifica, pois a produção de energia limpa significa uma alternativa de redução de custos para os produtores, sendo necessário basicamente de um aporte de investimento inicial para a sua instalação, havendo ainda a possibilidade de estoque de energia para utilizações futuras.

No que se refere aos produtores eficientes neste aspecto, estes representaram 65,2% das unidades amostrais consideradas. Além disso, considerando os valores dos alvos para as unidades ineficientes, pode-se inferir que os produtores tem se esforçado constantemente para a incorporação de boas práticas de produção, especialmente àquelas direcionadas a economia circular e sustentabilidade. Ademais, observa-se uma concordância entre o *input* Cred_financ e este *output*, uma vez que as unidades amostrais que apresentaram ineficiência em ambas variáveis foram quase idênticas, a saber, os produtores 11, 14, 15, 16, 21 e 27. Ou seja, em propriedades que fizeram uso deste crédito e foram eficientes, estas apresentaram um modelo

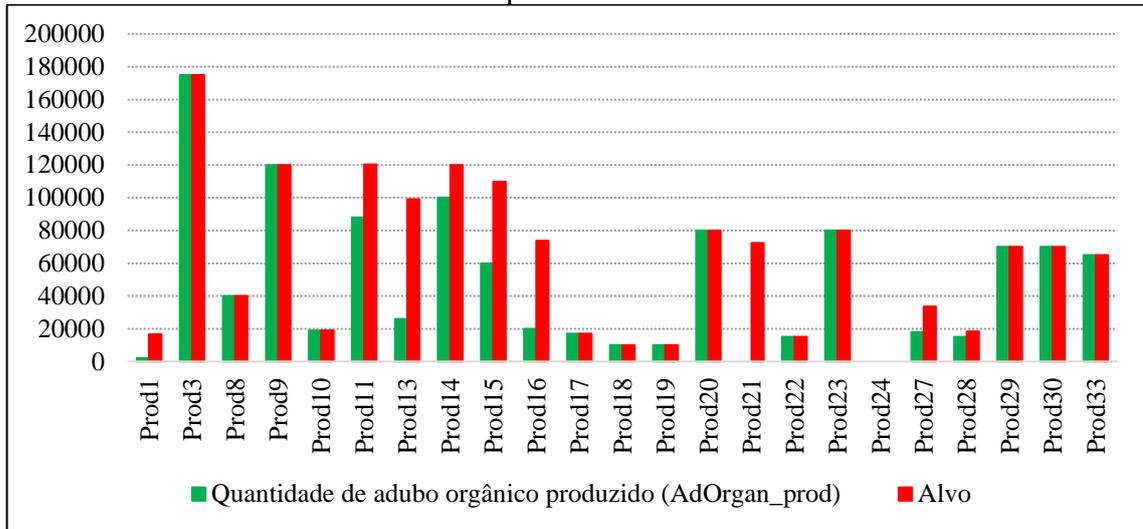
correto de alocação de recursos monetários para atendimento de suas demandas. No entanto, para unidades amostrais que acionaram o benefício e apresentaram ineficiência, nestes casos houveram outras fontes de custos que inviabilizaram a realização de investimentos neste campo de análise.

Se tratando do produtor 8 que apresentou eficiência, porém, um nível de investimentos em tecnologias sustentáveis de produção de 0%, algumas considerações podem ser realizadas. Trata-se de uma unidade amostral com uma área reduzida para a produção de café de apenas 3 hectares, que utiliza um sistema semimecanizado de produção e não utiliza sistema de irrigação. Entretanto, é uma propriedade que apresentou alta capacidade de produção, o que pode estar associado ao alto valor observado para a proporção de adubo orgânico/adubo químico utilizado neste ano safra (2020-2021). Neste sentido, esta unidade proporcionou uma margem de lucro superior a outros *inliers*, uma vez que obteve menos custos.

4.4.2.2.5 Índice de desempenho global resultante do *output* “Quantidade de adubo orgânico produzido”

O estudo do *output* “Quantidade de adubo orgânico produzido”, altamente correlacionado a CP3 e pertencente a dimensão “Economia Circular” possibilitou a criação do “Índice de desempenho na reinserção de resíduos gerados na produção”. Este índice tem grande importância na análise de unidades quanto ao seu comprometimento com os padrões sustentáveis de produção. Frente a isso, o Gráfico 12, contempla os alvos para o indicador de desempenho “Quantidade de adubo orgânico produzido”.

Gráfico 12 – Alvos para o indicador de desempenho “Quantidade de adubo orgânico produzido”



Fonte: Do autor (2022)

Com base no exposto pelo Gráfico 12, os *inliers* 1, 11, 13, 14, 15, 16, 21, 27 e 28 apresentaram ineficiência quanto à variável AdOrgan_prod. Assim, sugere-se que estes *inliers* realizem uma ampliação no valor desta variável na ordem de 14.704,77; 32.375; 73.000; 20.000; 49.872,21; 53.690,79; 72.309,94; 15.617,64 e 3.365,48 quilos respectivamente para que alcancem a eficiência relacionada a este *output*. Desta forma, acentua-se neste período uma oportunidade para que estes produtores consigam estabelecer a eficiência em suas propriedades. Para tanto, em alguns casos, observa-se que os produtores acabaram recorrendo à compra de matéria orgânica de terceiros a fim de cumprir os compromissos com seus plantios neste ano safra. Isto se deve ao fato de ter ocorrido perdas de produção em algumas regiões afetadas por eventos climáticos indesejáveis, todavia, ainda se tratou de uma medida de alto custo-benefício.

Nessa perspectiva, considera-se um cenário satisfatório para este índice a maximização da quantidade de adubação orgânica introduzida por estes produtores em suas áreas de plantio a fim de agregar maior sustentabilidade de produção bem como reduzir os custos envolvidos nesta. Além do mais, acredita-se que a formalização de uma produção em sua maioria orgânica ou 100% orgânica contribui para a geração de um produto final de maior valor agregado para seus produtores, favorecendo a aquisição de certificações e melhoria da qualidade percebida.

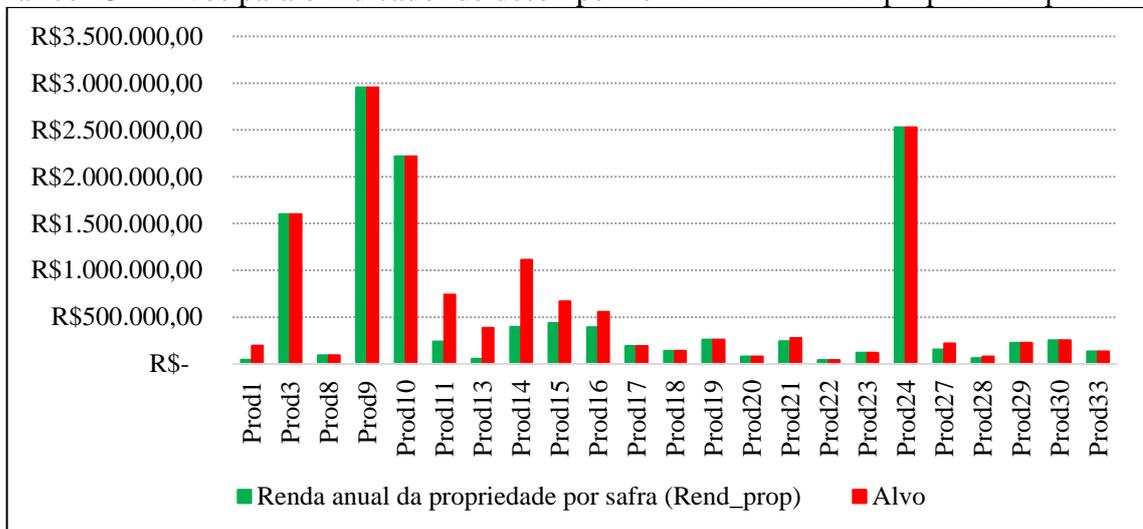
No que corresponde aos produtores eficientes, a saber, os *inliers* 3, 8, 9, 10, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 29, 30 e 33, estes que representam cerca de 61% das unidades amostrais, apresentam consumos de adubação orgânica de até 175.000 quilos em suas propriedades. Por outro lado, no caso do produtor 24, este apresentou eficiência mesmo não utilizado adubação orgânica em sua produção. Isso se deve ao fato de ser uma unidade amostral com uma área

plantada superior à média dos *inliers* considerados e a utilização de insumos químicos na quantidade e no tempo adequado, o que gera uma alta receita para o produtor. Além disso, considera-se nesta unidade a utilização de energia renovável e a realização de tratamento de resíduos gerados ao longo da produção, o que caracteriza as iniciativas de cunho sustentável neste *inlier*.

4.4.2.2.6 Índice de desempenho global resultante do *output* “Renda anual da propriedade por safra”

Por fim, o *output* “Renda anual da propriedade por safra”, que esteve altamente correlacionado a CPI e pertence a dimensão “Socioeconômica” permitiu o desenvolvimento do “Índice de desempenho econômico baseado na renda bruta da propriedade”. Assim, busca-se a partir deste gerar informações de caráter econômico sobre o desempenho das unidades amostrais analisadas. Por isso, o Gráfico 13 realiza a apresentação dos alvos para o indicador de desempenho “Renda anual da propriedade por safra”.

Gráfico 13 – Alvos para o indicador de desempenho “Renda anual da propriedade por safra”



Fonte: Do autor (2022)

Diante do exposto pelo Gráfico 13, as unidades amostrais ineficientes contemplaram os produtores 1, 11, 13, 14, 15, 16, 21, 27 e 28, sendo aconselhado que estes desempenhem atividades no sentido de elevar sua renda nestas propriedades na ordem de 332,7%, 211,7%, 591,9%; 180,6%, 53,3%, 42,2%, 14,6%, 43,9% e 25,6%. Além disso, cerca de 61% destes produtores foram eficientes quanto ao desempenho na variável Rend_prop, o que revela o

esforço da maioria destes produtores no alcance de preços satisfatórios e de uma capacidade produtiva elevada.

Nesta oportunidade, destaca-se para este índice o cenário de maximização de receitas e da capacidade de produção de cada unidade amostral como a melhor configuração existente. No caso das unidades amostrais 9 e 24, estas obtiveram os maiores valores para este *output*, no entanto, tratam-se de *inliers* com uma área plantada maior, dotados de sistemas de irrigação e caracterizados pela incorporação de uma proporção reduzida de adubo orgânico/adubo químico. No caso do produtor 9 ainda ressalta-se o fato do café produzido possuir certificação, o que eleva o padrão de comercialização do produto no mercado nacional e internacional.

Em geral, a maioria destes *inliers* apresentaram uma renda inferior a R\$ 1.250.000,00, cerca de 83%. Destes, apenas 10 produtores alcançaram a eficiência neste quantitativo. Muito embora, o valor da renda destes produtores varia conforme a quantidade de café colhido e os preços praticados na região produzida. Frente a isso, destaca-se os episódios de perdas de produção decorrentes de fortes chuvas e períodos prolongados de estiagem em algumas das principais regiões produtoras o que reduziu a margem destes produtores neste ano safra. Por outro lado, acompanhando o cenário caracterizado pela desvalorização do real frente ao dólar e alta de insumos, foram observados preços elevados para a maioria das regiões abordadas.

Nesse contexto, foram registradas altas no preço do café em relação ao ano safra anterior para as 12 regiões produtoras na ordem de 56% para Cacoal-RO, 58% em Itabela-BA, 81% em Capelinha-SP, 80% em Franca-SP, 106% em Guaxupé-SP, 76% em Manhumirim-SP, 87% em Caconde-SP, 88% em Santa Rita do Sapucaí-MG, 63% em Londrina-PR, 66% em Poço Fundo-MG e 63% em Brejetuba-ES. Frente a isso, destaca-se a ocorrência dos maiores percentuais de aumento para municípios da região Sudeste, especificamente dos estados de São Paulo e Minas Gerais que detém a maioria do volume de produção de café do país. Coincidentemente, estes dois estados foram os mais afetados por questões relacionadas ao clima, havendo perdas de produção, endividamento de produtores e redução da mão de obra.

4.5 Reaplicação da análise de componentes principais

A reaplicação da Análise de Componentes Principais corresponde ao terceiro estágio deste estudo. Dessa forma, a partir dos resultados obtidos pela aplicação do modelo de supereficiência de *Banker* e *Chang* foi possível a identificação de *outliers* no conjunto amostral considerado, sendo abordados como *inliers* apenas 21 e 23 produtores para os anos safra 2018-2019 e 2020-2021 respectivamente. Nesta perspectiva, a técnica *PCA* foi novamente

implementada a fim de promover maior realidade a análise dos *inliers* identificados, podendo ser avaliados com base nos valores de *inputs* e *outputs* nas três componentes principais consideradas.

4.5.1 Análise de Componentes Principais aplicada às propriedades produtoras de café a partir de *inputs* e de *outputs* definidos para a análise envoltória de dados para o ano safra de 2018-2019

A partir disso, tendo em vista a necessidade de realização do quarto estágio deste estudo, pautado na comparação dos resultados obtidos em ambas as técnicas abordadas (*PCA* e *DEA*), foram consideradas nesta etapa 5 variáveis para o ano safra de 2018-2019, a saber, os *inputs* Qtd_M, Tam_prop, Agua_cons e Area_cafe; e o *output* Rend_prop. Ademais, estas variáveis apresentaram correlações diferentes para cada dimensão abordada, o que indicou uma maior adesão de cada variável a uma determinada componente principal. Diante ao exposto, a Tabela 15 apresenta a relação dos autovetores (\hat{e}) e das correlações (r) entre as componentes principais I, II e III e os *inputs* e *output* considerando o ano safra de 2018-2019.

Tabela 15 – Relação dos autovetores (\hat{e}) e das correlações café entre as componentes principais I, II e III e os *inputs* e *output* considerando o ano safra de 2018-2019

Variáveis	CP1		CP2		CP3	
	\hat{e}	r	\hat{e}	r	\hat{e}	r
Qtd_M	-0.0686075	-0.1080673	-0.8973948	0.9397596	0.2991446	0.2784856
Tam_prop	0.5138291	0.8093593	-0.0080467	0.0084266	-0.5517230	-0.5136209
Area_cafe	0.3972179	0.6256789	0.3297395	-0.3453060	0.6459127	0.6013058
Agua_cons	0.5580477	0.8790104	-0.2880413	0.3016393	-0.2445792	-0.2276885
Rend_prop	0.5119309	0.8063694	-0.0540522	0.0566040	0.3592939	0.3344809

Fonte: Do autor (2022)

Conforme apresentado pela Tabela 15, as variáveis mais altamente correlacionadas, em módulo, à CP1 foram os *inputs* Tam_prop e Agua_cons, e o *output* Rend_prop. Além disso, nota-se a existência de autovetores positivos em sua maioria para esta componente. Assim, quanto maior forem os coeficientes numéricos destas variáveis maior será o escore obtido pela componente principal 1. Logo, maior será a relevância destes indicadores para o campo de análise. Neste sentido considerando o fato da existência de características de entrada e saída das variáveis, onde preza-se pela redução de *inputs* e maximização de *outputs* a primeira componente pôde ser avaliada sob estas duas realidades distintas.

Assim, em relação aos *inputs*, esta componente (CP1) pode ser interpretada como um **índice de desempenho na preservação de recursos hídricos**. Neste âmbito, acentua-se a importância de implementação de medidas direcionadas ao consumo mais consciente de água pelos produtores. Estima-se que o Brasil tenha utilizado cerca de 21% do seu potencial de irrigação nos últimos anos (FERNANDES et al., 2020). Todavia, é necessário lembrar os episódios recorrentes de fortes estiagens ocorridos nos últimos anos em alguns períodos específicos, o que tem dificultado a produção de alguns destes *inliers* que não utilizam métodos de irrigação ou que não se planejaram adequadamente para estes eventos. Assim, destaca-se como alternativas para fortalecimento deste índice a adoção de irrigações de baixo custo e baixo consumo de recursos hídricos, como o caso da metodologia de gotejamento (MIRANDA et al., 2020). Atualmente apenas cerca de 25 a 30% dos produtores de café no Brasil adotam práticas de irrigação mais sustentáveis que reduzem o consumo de água em até 1.000 litros por quilo de café produzido, significando uma diminuição de 50% do consumo deste insumo (MIRANDA et al., 2020).

Além disso, uma prática de baixo custo que tem sido comum entre alguns produtores corresponde a realização do estresse hídrico dos cafezais. Tal prática considera a suspensão da irrigação por até 72 dias para a sincronização da florada e maturação dos grãos (FERNANDES et al., 2020). No caso dos 21 *inliers* considerados, atenta-se para a necessidade de implementação de modelos como estes, visto que a renda destes produtores foi ineficiente em muitos casos e que poucas ultrapassaram a marca de R\$400.000,00. Trata-se de um valor elevado para a receita bruta, no entanto, deve-se ressaltar que se refere à única fonte de recursos financeiros de cada propriedade. Aqui, ressalta-se o apelo no apoio conjunto de entidades e institutos dedicados ao desenvolvimento tecnológico para projetos de irrigação sustentável (MIRANDA et al., 2020). Isto garante melhorias na gestão da propriedade, economia de recursos, avanço nos padrões de produção e qualidade do café bem como ampara a questão de inserção da sustentabilidade na cafeicultura (EXPOCACCER, 2020).

No que corresponde ao *output* Rend_prop que também obteve alta correlação com a CP1, esta pode ser interpretada como um **índice de desempenho econômico baseado na renda bruta da propriedade**. Neste âmbito, destaca-se a identificação de alternativas para o aumento da renda dos produtores, dentre elas, a busca pela diferenciação do produto. Isso significa uma possível reestruturação da produção a fim de alcançar padrões de certificação do café, o que eleva o valor agregado do produto e a renda da propriedade (VOLSI et al., 2019). Ademais, acentua-se a ocorrência de certificações no âmbito sustentável de produção, a partir da produção

orgânica. Tal prática tem sido recorrente em algumas regiões do país, como o caso do município de Poço Fundo-MG em que também é observado um preço mais elevado do café.

Atualmente, as questões ambientais tem sido alvo de debates no sentido da melhoria da qualidade dos alimentos, através da eliminação do uso de fertilizantes e agroquímicos, permitindo a produção de alimentos mais saudáveis e redução da poluição do solo e da água (GOMES et al., 2020). Se tratando da produção de café, a incorporação de padrões sustentáveis pelos produtores tem ocorrido com incentivos no controle biológico de pragas e doenças, bem como na reutilização de resíduos gerados na produção do café (GOMES et al., 2020). Frente a isso, estabelecer uma cultura de produção pautada nos aspectos da economia circular também representa um avanço para a produção da *commodity* (SILVA et al., 2018; LINGNAU et al., 2019; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2020; AVRAAMIDOU et al., 2020).

Se tratando das variáveis mais correlacionadas a CP2, foi selecionada apenas o *input* Qtd_M que obteve os maiores valores em módulo para o autovetor e correlação. Assim, a segunda componente principal pode ser interpretada como um **índice de desempenho da mão de obra**. A contratação de mão de obra especializada para a realização de atividades nas fases de colheita tem sido cada vez mais escassa dentre o conjunto de produtores existente (VOLSI et al., 2019; VEGRO; DE ALMEIDA, 2020).

Por outro lado, a dependência dos modelos tradicionais, onde o sistema manual é predominante, ainda corresponde a uma realidade para a maioria destes produtores analisados neste estudo. Isso se torna mais evidente em áreas de difícil acesso com irregularidades de relevo, o que dificulta o trabalho mecanizado e favorece a realização do trabalho manual (VOLSI et al., 2019). Todavia, acentua-se neste sentido alguns avanços no desenvolvimento de máquinas e equipamentos específicos para estas áreas que futuramente substituirão grande parte da mão de obra utilizada atualmente, que também significa a maior fonte de custos de produção de café nos últimos anos (VEGRO; DE ALMEIDA, 2020; GUIMARÃES et al., 2022).

Em relação a terceira componente principal apenas a variável Area_café obteve destaque sendo a mais correlacionada à CP3. Desta forma, esta componente pode ser interpretada como um **índice de desempenho na distribuição geográfica da produção**. Neste contexto, deve-se ressaltar o cenário de constantes reduções no quantitativo de área plantada de café no país, mas avanços de produtividade (GOMES et al., 2020). Segundo o Conselho de Exportadores de Café do Brasil (CECAFE, 2022), no Brasil em 2021 esta área correspondeu a 1,76 milhão de hectares, a menor área em 25 anos. Assim, verifica-se esta tendência para os próximos anos, haja vista que a redução das áreas promove a redução de custos dos produtores,

já os investimentos em tecnologia e sustentabilidade agregam valor ao produto (CECAFE, 2022).

Desta maneira, os escores relativos às componentes principais 1, 2 e 3 foram calculados, de forma que se tornou possível o conhecimento do desempenho assumido por cada produtor analisado com base nas variáveis abordadas e suas respectivas componentes. Frente a isso, a Tabela 16, contempla os escores das três primeiras componentes principais para os *inputs* e *output* dos produtores considerando o ano safra de 2018-2019.

Tabela 16 – Escores das três primeiras componentes principais para os *inputs* e *output* dos produtores considerando o ano safra de 2018-2019

Escores	CP1	CP2	CP3
Prod1	-0,0093735	-0,8758242	-0,4573726
Prod5	0,0974298	1,1064586	0,9906372
Prod6	4,9928383	-0,6567528	-2,4508579
Prod7	2,9349599	-0,9424077	1,9268924
Prod8	-1,3439035	-2,2179206	0,2763422
Prod9	1,1425025	2,0362746	0,7992459
Prod12	1,1888953	0,4396674	1,5830574
Prod13	-0,9510112	1,2972362	-0,6266904
Prod14	1,4410117	-0,3656148	0,9786142
Prod16	-0,5158299	1,3554755	-0,5366508
Prod17	-0,8427204	-0,1575124	-0,1582733
Prod18	-0,3590862	0,4413908	-0,9318351
Prod19	-0,1228525	0,8099613	0,0757959
Prod20	-0,9989238	0,4866239	-0,5410653
Prod23	-1,0764253	-0,6349347	-0,1232527
Prod26	-0,6940865	1,2310793	-0,5369151
Prod27	-0,9056850	-0,6017134	-0,0038551
Prod28	-1,0358467	-1,0440570	0,0547675
Prod29	-0,8743686	-0,6372061	0,0163433
Prod32	-1,1066867	-0,8868411	-0,1024559
Prod33	-0,9608376	-0,1833829	-0,2324720

Fonte: Do autor (2022)

Além disso, com base na geração destes escores os produtores foram alocados em três grupos distintos, assim como exposto no Gráfico 14, que corresponde a representação dos escores e autovetores das componentes I e II relativos as 5 dimensões de desempenho no ano safra de 2018-2019. Desta maneira, o Grupo I foi composto pelos produtores 1, 5, 8, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 26, 27, 28, 29, 32 e 33, correspondendo a 76,2% do conjunto amostral; o Grupo II formado apenas pelo produtor 6 e o Grupo III composto pelos produtores 7, 9, 12 e 14.

De acordo com a Tabela 16, o produtor 8 (Grupo I) apresentou o menor escore na primeira componente principal. Já o produtor 6 (Grupo II) obteve destaque com a maior valor positivo nesta componente. Dessa maneira, nesta análise pode-se inferir que o produtor 6 se

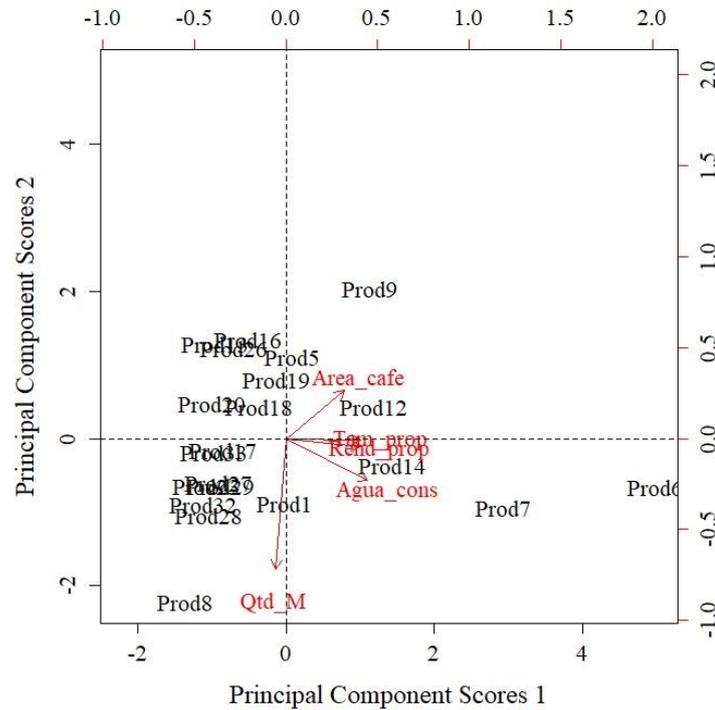
sobressaiu em relação ao seu desempenho tanto nos *inputs* (Água_cons e Tam_prop) quanto no único *output* (Rend_prop) considerado. Todavia, o cenário oposto pôde ser verificado para o produtor 8 com relação a estas variáveis. Nesta componente (CP1) ainda pode-se considerar a ocorrência de 15 produtores com escores negativos, o que representa um total de 71,4% de todos estes *inliers*. Isso reflete o fato da maioria destes produtores apresentarem bom desempenho para os *inputs* Area_cafe, Tam_prop e Agua_cons; e um mau desempenho para o único *output* Rend_prop, considerando a lógica de maximização de *outputs* e redução de *inputs*.

Para a segunda componente principal foram elucidados os produtores 8 (Grupo 1) e 9 (Grupo III) com o menor e maior escores respectivamente. Assim, no caso do produtor 9 este apresentou um bom desempenho no *input* Qtd_M, já o produtor 8 obteve um desempenho reduzido em razão de ser o produtor com o maior valor nesta variável dentre todos os *inliers* considerados. Frente a isso, considera-se o fato da ocorrência de apenas 9 produtores com escores positivos. Assim, acentua-se uma predominância de um mau desempenho destas unidades amostrais quanto ao volume de mão de obra contratada, especificamente do sexo feminino.

Ademais, para a terceira componente principal foram ressaltados os produtores 6 (Grupo II) e 7 (Grupo III) com o menor e maior escores respectivamente. Neste sentido, o produtor 7 alcançou um desempenho satisfatório na variável Area_cafe. Já o produtor 6 obteve um desempenho inferior nesta componente, justificado pelo valor elevado alcançado para a variável, superior à média dos demais *inliers*. Além do mais, foram verificados 9 produtores com escores positivos, o que salienta um cenário marcado pela busca de redução destas áreas pela maioria das unidades amostrais.

A fim de complementar estas análises foi desenvolvido o Gráfico 14, que contempla o diagrama de ordenação dos quatro *inputs* e único *output* bem como uma comparação dos escores obtidos pelos *inliers* na primeira e segunda componentes principais. Nesta ocasião, destaca-se a presença das setas que indicam as 5 variáveis analisadas e os pontos plotados indicando a localização de cada produtor com base nos seus escores obtidos nestas componentes.

Gráfico 14 - Escores e autovetores das componentes I e II relativos as 4 dimensões de desempenho no ano safra de 2018-2019



Fonte: Do autor (2022)

De acordo com os resultados apresentados pelo Gráfico 14, podem ser identificados com maior clareza os agrupamentos desenvolvidos (Grupos I, II e III) e o desempenho dos produtores conforme as variáveis abordadas. Frente a isso, no caso das variáveis mais correlacionadas a uma componente, quanto maior o valor dessas variáveis maior será o escore desta componente principal. Desta maneira, pode-se ressaltar o produtor 8 que apresentou os menores escores para as duas componentes (CP1 e CP2) consideradas no gráfico. Além disto, o produtor 9 obteve a melhor pontuação para a componente principal 2, no entanto, para a componente principal 1 apresentou o terceiro maior escore, ficando abaixo dos produtores 6 e 7. Neste caso, o produtor 6 (Grupo II) representou a melhor unidade amostral para a componente principal 1 seguido do produtor 7.

Assim, pode-se inferir o alto desempenho dos produtores 6, 7 e 14 para os *inputs* mais correlacionados a CP1 (*Agua_cons* e *Tam_prop*), o que justifica os altos escores obtidos nesta componente. Além disso, estes *inliers* também se destacaram quanto a única variável de saída (*Rend_prop*), que também esteve altamente correlacionada a CP1. Neste sentido, quanto maior o valor destas variáveis para estes produtores específicos, maiores serão os índices de desempenho na preservação de recursos hídricos e de desempenho econômico baseado na renda bruta da propriedade.

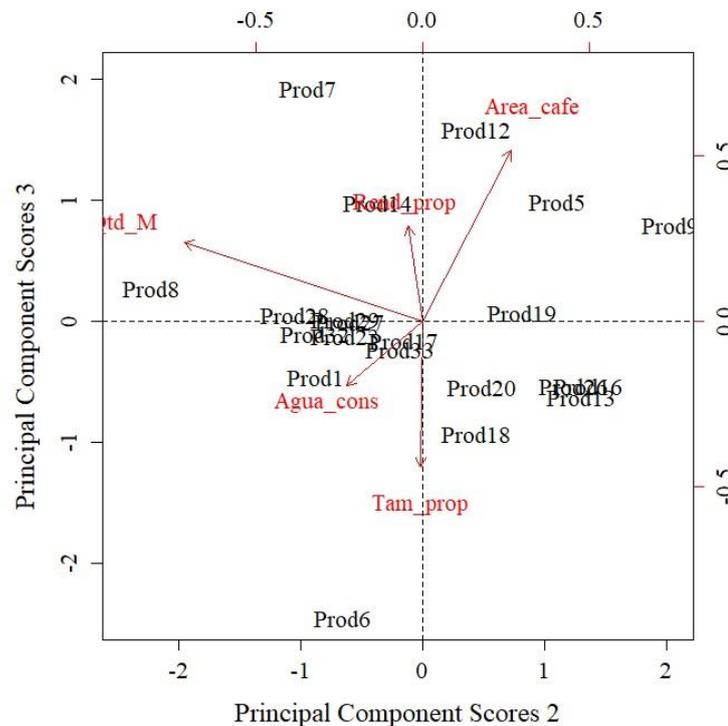
Neste contexto, muito tem sido investido na produção de café no país a fim de acompanhar as demandas do produto no mercado internacional (EXPOCACCER, 2020). No entanto, um mercado internacional aquecido põe em risco a manutenção do preço do produto no mercado nacional, gerando a falta do produto e alta dos preços. Nesse sentido, o país tem sofrido pela alta seguida dos juros, dificultando a aquisição de crédito por produtores, além da alta provocada nos preços dos insumos necessários para a produção do café (CNA, 2022). Dentre os insumos, se destacam a utilização de fertilizantes, defensivos e corretivos que são utilizados no preparo do solo, controle de pragas e maior produtividade da planta (CNA, 2022). Além disso, a ocorrência de eventos climáticos indesejáveis tem dificultado a produção da *commodity* nos últimos anos, reduzindo a produtividade em algumas unidades amostrais apresentadas.

Os produtores 1, 32, 28 e especialmente o produtor 8 (Grupo I) apresentaram alto valor para o *input* Qtd_M que esteve altamente correlacionado a CP2. Desta forma, quanto maior os valores deste *input* para estes produtores maior será o escore da segunda componente principal. No entanto, aqui acentua-se a necessidade de redução deste *input* que detém grande parte da parcela de custos da produção nacional de café. Frente a isso, no caso dos produtores 1, 5, 9, 13, 16 e 26 estes apresentaram eficiência para este quantitativo e, sobretudo, baixos valores para a variável, favorecendo o cenário de redução de custos dos produtores. Além do mais, considerando os avanços que têm sido realizados no setor e suas perspectivas futuras, a produção mecanizada nestes *inliers* pode ser uma realidade próxima, haja vista que a automatização de processos além de promover a redução da força de trabalho, reduz custos relacionados a capacitação e treinamento, além de garantir a consistência quanto a protocolos de saúde e segurança no trabalho (VEGRO; DE ALMEIDA, 2020).

Vale ressaltar a concentração da maioria de produtores do Grupo I em uma posição intermediária do gráfico próxima a origem, demonstrando um desempenho similar para estes *inliers* nas duas componentes. Neste âmbito, destaca-se a importância dos três índices gerados a partir das variáveis mais correlacionadas às componentes principais 1 e 2 para a avaliação de desempenho destes *inliers*. Esta configuração remete a constante preocupação destes produtores com todas estas variáveis de maneira simultânea, visto que os *inputs* considerados impactam na geração da receita nas propriedades.

Em seguida, o Gráfico 15 apresenta os escores e autovetores das componentes II e III relativos às 5 dimensões de desempenho no ano safra de 2018-2019. A partir dele pôde-se comparar os escores das componentes principais II e III, assim como, realizar uma análise do desempenho das unidades amostrais com base nos valores obtidos nas variáveis abordadas.

Gráfico 15 - Escores e autovetores das componentes II e III relativos as 4 dimensões de desempenho no ano safra de 2018-2019



Fonte: Do autor (2022)

Com base na análise do Gráfico 15, os produtores 5, 12 e, em especial, o produtor 9 apresentaram altos valores para o *input* Area_cafe que esteve altamente correlacionado a CP3. Isto indica que nestes casos quanto maior o valor assumido pela área de café nestas unidades maior será o escore da CP3. Além disso, ressalta-se os valores alcançados nesta variável para os *inliers* 8, 20, 23, 29, 32 e 33, estes que foram eficientes apresentando baixos quantitativos de área destinada ao plantio de café. Desta maneira, um caminho promissor para a eficiência neste quantitativo corresponde a investimentos na ampliação da produtividade das propriedades. Assim, acentua-se a realização de alguns procedimentos como a renovação de cafezais antigos, seleção e plantio de clones de sementes de alta produtividade e emprego de tecnologias no manejo adequado para a cultura (GUIMARÃES et al., 2022).

Entretanto, para que se alcance uma plenitude quanto a produtividade nestas áreas é necessária também a ocorrência de um clima favorável, sem o registro de eventos climáticos indesejáveis, para a floração e maturação do café (GUIMARÃES et al., 2022). Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Café (ABIC, 2020), no estado de Rondônia foi possível a redução no quantitativo Area_cafe na ordem de 54%, atingindo uma alta de produtividade de 154% na última década. Ademais, a utilização de modelos sustentáveis nas lavouras tem

contribuído para a produção de alta qualidade nesta área, com um mínimo de perdas geradas (GOMES et al., 2020).

Novamente, observa-se uma concentração de *inliers* do Grupo I próximos a região de origem do diagrama de ordenação, o que confirma o potencial de desempenho médio nas duas componentes (CP2 e CP3) para estes *inliers*. Ambas componentes (CP2 e CP3) representam grande parte dos custos incorridos nas lavouras de café, o que sugere a minimização destes índices para o alcance de um bom desempenho nos *inliers* contemplados.

4.5.2 Análise de Componentes Principais aplicada às propriedades produtoras de café a partir de *inputs* e de *outputs* definidos para a análise envoltória de dados para o ano safra de 2020-2021

Considerando o ano safra de 2020-2021, foi realizada a reaplicação da *PCA* para as 6 variáveis abordadas que estiveram distribuídas em 4 dimensões de desempenho, a saber, 3 *inputs* (Area_cafe, Cred_financ, QtdInsum_prod) e 3 *outputs* (QtdInsum_prod, Rend_prop e Rend_tec). Assim, a Tabela 17 apresenta a relação dos autovetores (\hat{e}) e das correlações (r) entre as componentes principais I, II e III e os *inputs* e *outputs* considerando o ano safra de 2020-2021.

Tabela 17 – Relação dos autovetores (\hat{e}) e das correlações (r) entre as componentes principais I, II e III e os *inputs* e *outputs* considerando o ano safra de 2020-2021

Variáveis	CP1		CP2		CP3	
	\hat{e}	r	\hat{e}	r	\hat{e}	r
Area_cafe	-0.6275202	0.8953656	0.2598585	0.2941928	-0.0340461	-0.0362800
Cred_financ	0.3060228	-0.4366430	0.3820577	0.4325378	0.5857735	0.6242078
QtdInsum_prod	-0.0904200	0.1290141	-0.5354165	-0.6061594	0.2539952	0.2706605
AdOrgan_prod	-0.2176221	0.3105101	-0.2078717	-0.2353371	0.7599272	0.8097882
Rend_prop	-0.6628133	0.9457229	0.2011940	0.2277772	0.0405799	0.0432424
Rend_tec	0.1330851	-0.1898900	0.6450930	0.7303272	0.1098198	0.1170254

Fonte: Do autor (2022)

De acordo com o apresentado pela Tabela 17, as variáveis mais altamente correlacionadas, em módulo, à CP1 foram Area_cafe e Rend_prop. Novamente, por se tratar de duas variáveis distintas, um *input* e um *output*, a componente principal 1 pôde ser considerada em duas etapas. Em relação ao *input* Area_cafe esta componente pode ser interpretada como um **índice de desempenho na distribuição geográfica da produção**.

Frente a isso, quanto maior for o escore obtido pela variável Area_cafe maior será o escore da primeira componente principal. Segundo Volsi et al. (2019), a adequação da área

utilizada para cultivo em relação a renda da propriedade trata-se de um processo de planejamento de produtividade. Aliás, em muitos casos quando há a redução da área de cultivo associada a inserção de insumos na quantidade e tempo corretos verifica-se o aumento da produção (VEGRO; DE ALMEIDA, 2020). Trata-se da identificação de gargalos de produção que muitas vezes estão relacionados a práticas inadequadas de gestão das propriedades (GUIMARÃES et al, 2022).

Em relação ao *output* Rend_prop que também se destacou com alta correlação à CP1, a primeira componente pode ser interpretada como um **índice de desempenho econômico baseado na renda bruta da propriedade**. Logo, quão maior for o escore obtido por esta variável maior será o desempenho da segunda componente principal. No entanto, ressalta-se o caráter dependente deste *output* a outros setores de atuação na produção cafeeira, tais como o setor de tecnologia e inovação, certificação e produção sustentável, como percussores do aumento da renda (COSTA, 2020; PRONTI; COCCIA, 2021; GUIMARÃES et al, 2022).

Desta maneira, caso não sejam realizados investimentos em alguma destas áreas, a ampliação da renda na propriedade se torna um desafio ainda maior para o produtor. Além disso a situação se agrava quanto a realização de financiamentos, que muitas vezes ocorrem sem planejamento e geram endividamento dos produtores (VEGRO; DE ALMEIDA, 2020). Posto isso, acentua-se a necessidade de mudança dos padrões vigentes na gestão de desempenho das propriedades, principalmente, com relação a busca de alternativas de aumento da produtividade de baixo custo (PRONTI; COCCIA, 2021).

No que corresponde à CP2, as variáveis QtdInsum_prod e Rend_tec apresentaram os maiores autovetores e correlações em módulo. Isso significa que quanto maior o valor destas variáveis maior será o escore da componente principal 2. Desta maneira, a partir do *input* QtdInsum_prod a segunda componente principal pode ser interpretada como um **índice de desempenho na reinserção de resíduos gerados na produção**.

Aqui se faz necessária a consideração das influências de mercado nos preços de insumos, o que tem dificultado a manutenção da utilização destes em quantidade e variedade adequados. No entanto, um caminho promissor revela-se na substituição destes insumos por formas de manejo inovadoras relacionadas ao combate de pragas e doenças por defensivos de origem biológica, adubação verde e utilização de matéria orgânica complementar (COSTA, 2020; PRONTI; COCCIA, 2021). Neste sentido, a agricultura orgânica se torna mais forte, ocupando o Brasil a terceira posição na América Latina com a maior área destinada para este fim, cerca de 1,1 milhão de hectares (MAPA, 2020).

Por outro lado, considerando a CP2 sob a perspectiva do *output* Rend_tec, esta pode ser interpretada como um **índice de desempenho em inovação para inserção de modelos sustentáveis de produção**. Nesta perspectiva ressalta-se a consideração de novas metodologias de cultivo aplicadas à cafeicultura, significando não apenas os investimentos em tecnologias físicas como maquinários e equipamentos de produção. Isso demonstra a existência de lacunas de estudo e desenvolvimento para melhor servir os produtores na busca pela amplitude de seus resultados. Ademais, salienta-se os estudos desenvolvidos por órgão de fomento em pesquisa e inovação no país, assim como o trabalho desempenhado por *startups* na aquisição de conhecimento e transformação em soluções práticas e de alto rigor quanto aos resultados alcançados. Outrossim, destaca-se o papel das cooperativas no auxílio de pequenos e médios produtores que não conseguem de forma isolada o acesso a algumas destas tecnologias (PRONTI; COCCIA, 2021; GUIMARÃES et al, 2022).

Se tratando das variáveis mais correlacionadas à terceira componente principal, estas foram Cred_financ e AdOrgan_prod. Considerando o *input* Cred_financ, a CP3 pode ser entendida como um **índice de desempenho quanto a dependência de agentes financeiros**. Posto isso, quanto maior o escore obtido por esta variável, maior será o escore da CP3. Além disso, os *inliers* que se sobressaírem apresentando valores elevados para esta variável apresentarão maior dependência de recursos financeiros provenientes de programas de crédito e seguro rural.

Por fim, no que se refere ao *output* AdOrgan_prod, a componente principal 3 pode ser entendida como um **índice de desempenho na redução de insumos químicos**. Desta maneira, quanto maior o escore desta variável, maior será o desempenho da componente principal 3. Aliás, quanto maior forem os escores das unidades amostrais em relação a esta variável maior será também o desempenho destas unidades quanto a inserção de práticas sustentáveis de produção, especialmente direcionadas à adubação orgânica e redução de utilização de insumos químicos nos cafezais.

Analogamente, os escores relativos às componentes principais 1, 2 e 3 foram calculados, tornando-se viável o conhecimento do desempenho assumido por cada produtor analisado com base nas variáveis abordadas e suas respectivas componentes. Frente a isso, a Tabela 18 contempla os escores das três primeiras componentes principais para os *inputs* e *outputs* dos produtores considerando o ano safra de 2020-2021.

Tabela 18 – Escores das três primeiras componentes principais para os *inputs* e *outputs* dos produtores considerando o ano safra de 2020-2021

Escores	CP1	CP2	CP3
Prod1	0,6025215	0,20674668	-1,48987157
Prod3	-1,5699827	0,29572431	2,00409942
Prod8	0,3371262	-1,79265739	-0,68988234
Prod9	-3,4468658	-0,08239911	0,79382865
Prod10	-2,5567042	0,6052287	-0,90028744
Prod11	0,4449758	-0,80040751	1,83432404
Prod13	0,3232527	-2,03724658	-0,3986987
Prod14	-0,6974889	0,12273475	1,77096976
Prod15	0,7500665	0,51633651	1,06500056
Prod16	0,8260417	0,95058502	-0,03318862
Prod17	0,6247415	0,41061141	-1,17003903
Prod18	1,6345676	2,98459632	0,34989038
Prod19	0,2224735	-0,62250753	-1,52882995
Prod20	0,2250347	-1,20107032	-0,36787128
Prod21	1,3313267	1,02498224	-0,035815
Prod22	0,8688906	0,55503373	-1,10762868
Prod23	0,7485836	0,13155204	0,59811516
Prod24	-3,5889708	1,23210445	-1,49535282
Prod27	0,9208466	0,33042463	-0,38751181
Prod28	0,5240911	-1,02276577	-0,44659657
Prod29	0,1584408	-1,51363142	0,50865712
Prod30	0,305097	-0,92621032	0,51597537
Prod33	1,0119343	0,63223517	0,61071335

Fonte: Do autor (2022)

Diante disso, com base na geração destes escores os produtores foram alocados em três grupos distintos, assim como exposto no Gráfico 16, que corresponde a representação dos escores e autovetores das componentes I e II relativos às 3 dimensões de desempenho no ano safra de 2020-2021. Assim, o Grupo I foi composto pelos produtores 1, 3, 8, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 28, 29, 30, 33; o Grupo II formado pelos produtores 9, 10 e 24, e o Grupo III composto apenas pelo produtor 18.

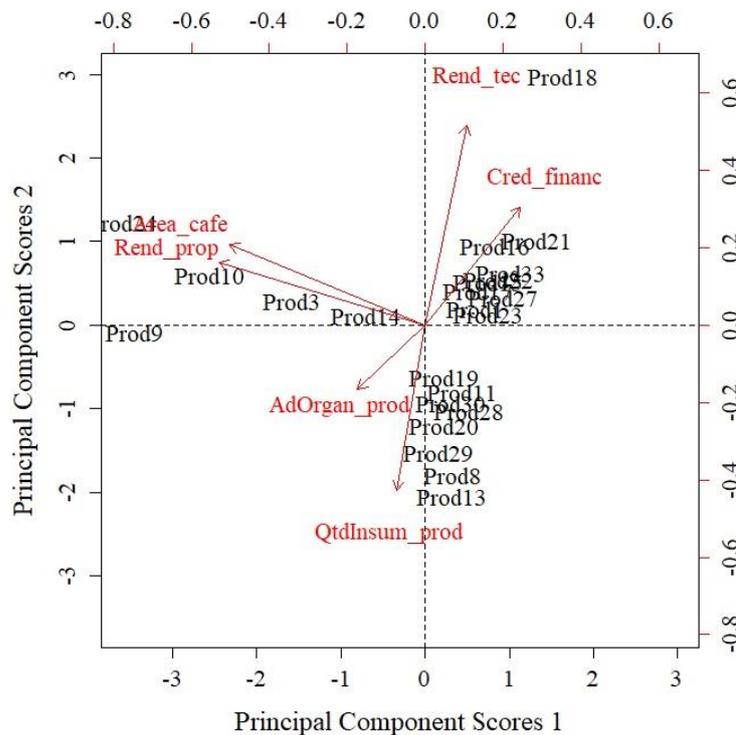
A partir do conteúdo apresentado pela Tabela 18, notou-se um destaque para o produtor 18 (Grupo III) na primeira componente principal, uma vez que obteve o maior escore nesta componente. Já o produtor 24 (Grupo II) obteve o menor escore para a mesma componente. Aliás, em uma avaliação de caráter global atenta-se para a ocorrência de escores positivos e reduzidos para a maioria dos produtores em todas as três componentes consideradas, o que indica um desempenho moderado destas em relação às variáveis abordadas e a presença de algumas unidades que se sobressaem pontualmente.

Em relação à componente principal 2, o produtor 18 se destacou com o maior escore apresentado, já o produtor 13 apresentou o menor dentre todos os produtores considerados.

Além disso, no caso da CP2 foram verificados 14 *inliers* com escores positivos, cerca de 61% do total de produtores. Isso revela sob a perspectiva dos *outputs* Rend_tec e Rend_prop que a maioria destes produtores têm avançado na melhoria de suas propriedades frente a estes dois aspectos. Muito embora, sob o âmbito dos *inputs* Area_cafe e Cred_financ, admite-se um crescimento indesejado destas unidades amostrais nestes quantitativos.

Já para a componente principal 3, os produtores 3 e 19 obtiveram o maior e o menor escore. Neste caso, verifica-se a presença de apenas 10 produtores com escores positivos, o que demonstra uma superioridade do conjunto amostral com bom desempenho para os *inputs* QtdInsum_prod e Cred_financ; e mau desempenho para os três *outputs* analisados. Frente a isso, o Gráfico 16 apresenta o comparativo realizado entre os escores obtidos pelos 23 produtores considerados na análise do ano safra 2020-2021, bem como a representa o diagrama de ordenação das 6 variáveis abordadas.

Gráfico 16 - Escores e autovetores das componentes I e II relativos as 3 dimensões de desempenho no ano safra de 2020-2021



Fonte: Do autor (2022)

De acordo com o Gráfico 16, observa-se que o produtor 18 apresentou o maior desempenho dentre estes *inliers* considerando os escores obtidos nas duas componentes principais (CP1 e CP2). Acentua-se também os valores elevados deste produtor para o *output* Rend_tec correlata a CP2, o que justifica o escore elevado para a segunda componente principal.

Por outro lado, a análise deste gráfico quanto ao desempenho destes *inliers* no *output* Rend_tec promove uma reflexão acerca das possíveis alternativas que estes terão que buscar para o alcance de eficiência neste aspecto, visto que em sua maioria não atingiram um bom desempenho neste âmbito, em especial, os produtores do Grupo I.

Em geral, a produção cafeeira no Brasil apresentou um déficit de aproximadamente 25,7% na produção ao final do ano safra 2020-2021 comparado ao ano safra anterior (CNA, 2022). Isto se deve em parte a questões climáticas como secas e geadas ocorridos neste período, todavia, também apresenta relação aos padrões de gestão exercidos pelos *inliers* das principais regiões produtoras (COSTA, 2020; GUIMARÃES et al, 2022). Sabe-se da importância da região Sudeste para a produção cafeeira nacional, onde o café com indicação geográfica possui maior aceitação no mercado internacional, a partir da certificação de denominação de origem (EXPOCACCER, 2020). No entanto, atualmente, este representa apenas cerca de 14% do montante comercializado internacionalmente (EXPOCACCER, 2020).

Por outro lado, a dificuldade destes produtores na consolidação de investimentos a longo prazo em ciência e tecnologia aplicada a produção cafeeira tem significado um gargalo para o avanço de desempenho em algumas regiões (CORREIA, 2022). Embora haja iniciativas interessantes quanto a digitalização de lavouras a partir da incorporação de sistemas de georreferenciamento, bem como a utilização de insumos mais eficientes específicos para determinadas pragas, e por fim a existência de manejos e técnicas inovadoras que aproximam produtores ao alcance de certificações, ainda representam iniciativas pontuais e de alto custo para a maioria destes (SANTOS et al., 2022).

Nesse âmbito, estima-se que até 2030 cerca de 80% das propriedades rurais estejam conectadas a partir de algum recurso tecnológico, o que representará um acréscimo de US\$ 500 milhões no PIB (CORREIA, 2022). Muito embora, ainda há uma extensa lacuna para desenvolvimento destas regiões, em especial, quanto a previsibilidade do clima e aumento de produtividade aliada a redução de custos (CORREIA, 2022). Além disso, ressalta-se sobre a importância da tecnologia implantada para a reconstrução orçamentária dos produtores, visto que este setor promove impactos diretos na melhoria de padrões produtivos, qualidade do produto e ganho de escala (GUIMARÃES et al, 2022; HO et al., 2022).

No caso da variável QtdInsum_prod, que também esteve altamente correlacionada a CP2, podem ser destacados os desempenhos dos produtores 13, 8 e 29 respectivamente. Nestes casos foram registrados altos valores para este *input*, o que segundo o modelo *BCC* com orientação a *output*, não configura uma situação aceitável, sendo sugerida reduções neste quantitativo como no caso do produtor 13. Entretanto, houveram produtores que criaram

possibilidades de redução para este quantitativo no período de análise, como o produtor 18, e em menor proporção o *inlier* 21.

Neste período de análise reitera-se sobre a questão da alta dos preços de alguns insumos químicos que dificultaram a manutenção das atividades de alguns produtores, em especial, os pequenos produtores (GUIMARÃES et al, 2022). Por outro lado, muitos produtores a fim de modificarem seus padrões de produção com metodologias de baixo custo e ambientalmente corretas intensificaram o uso de matéria orgânica proveniente de todo o processo de beneficiamento do café em suas lavouras, a fim de substituir em parte o corte realizado na compra de fertilizantes por exemplo.

Ademais, aqui ressalta-se a criação de alguns programas de incentivo à produção cafeeira pautada em técnicas de cultivo sustentável (COSTA, 2020). O Programa Cafés Sustentáveis do Brasil (PCS), por exemplo, contempla uma das iniciativas da Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC) quanto a produção de cafés de alto padrão de qualidade e pureza. Além disso, aliado à incorporação de tecnologias voltadas para o setor, este programa tem obtido grandes retornos quanto à agregação de valor ao produto, colocando o país em uma posição de liderança na produção e de segundo maior consumidor da bebida (COSTA, 2020; PRONTI; COCCIA, 2021). Neste contexto, há também o Programa de Qualidade do Café (PQC) que avalia qualidade da bebida e as características sensoriais da bebida (EXPOCACCER, 2020).

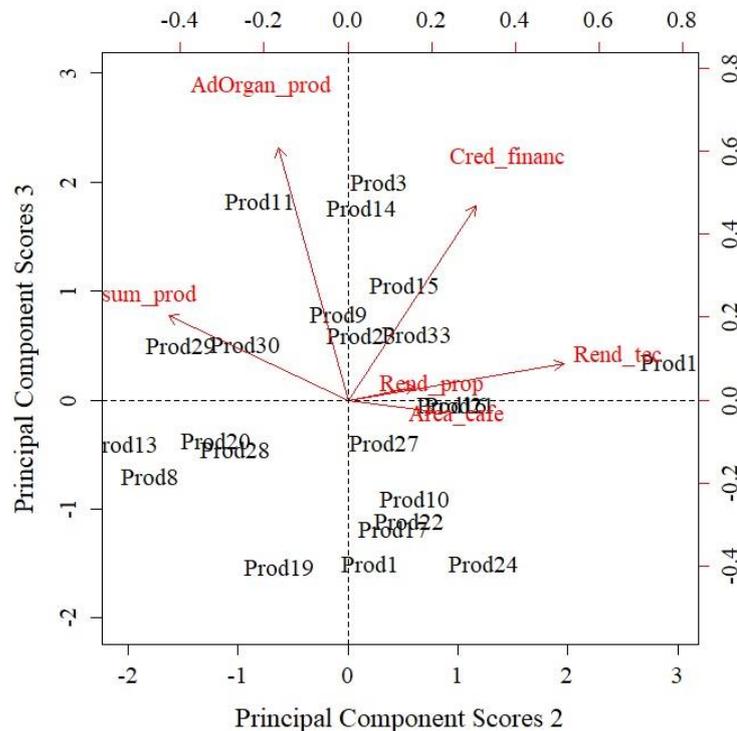
Para as variáveis mais correlacionadas à CP1, destacam-se os desempenhos dos produtores 24 e 10. Tratam-se de unidades amostrais pertencentes ao Grupo II. Nestes casos, quanto maior forem os valores obtidos por estes produtores nestas variáveis maior será o escore em módulo para a componente principal 1. Ademais, ressalta-se uma proporcionalidade de desempenho para as unidades amostrais 24 e 10 que apresentaram valores elevados para ambas as variáveis. Tal fato não foi verificado para o produtor 9 que embora tenha se destacado com a maior renda dentre todos os 23 *inliers*, este detém uma área reduzida destinada ao cultivo de café, o que amplia sua capacidade produtiva frente aos demais *inliers*.

Vale lembrar o destaque negativo apresentado pela maioria dos *inliers* do Grupo I frente às variáveis mais correlacionadas à CP1. Isto sugere que estes produtores reavaliem seus padrões de desempenho buscando identificar fatores influentes na renda de suas propriedades, de forma que consigam ampliá-la ao longo dos anos. Aqui ressalta-se o caminho de desenvolvimento sustentável como medida de ampliação de renda destes produtores. No entanto, vale ressaltar que poucas medidas tem sido implementadas para este fim, de modo que foram verificados nestes casos baixos quantitativos para variáveis relacionadas ao tratamento

de água e energia produzida nas propriedades, tratamento de resíduos gerados bem como o próprio reaproveitamento de água.

Assim como realizado na análise anterior, o Gráfico 17 realiza a apresentação dos escores e autovetores das componentes II e III relativos as 3 dimensões de desempenho no ano safra de 2020-2021. Neste sentido, ocorre a comparação dos escores obtidos nestas duas componentes bem como a apresentação do diagrama de ordenação das 6 variáveis consideradas.

Gráfico 17 - Escores e autovetores das componentes II e III relativos as 3 dimensões de desempenho no ano safra de 2020-2021



Fonte: Do autor (2022)

Diante dos resultados do Gráfico 17, considerando as variáveis mais correlacionadas à CP3 (Cred_financ e AdOrgan_prod), acentua-se o desempenho alcançado pelas unidades amostrais 3, 11, 14 e 15. Isso significa que à medida que seus valores para estas variáveis cresçam, maior será o escore da terceira componente principal. Além disso, cabe ressaltar que conforme o modelo *BCC* com orientação a *output* seguido pela metodologia deste estudo, preza-se pela maximização de saídas (*outputs*) e redução de entradas (*inputs*). Desta maneira, para o caso da variável Cred_financ atenta-se para a necessidade de redução do volume de crédito financiado nestes quatro *inliers* a fim de promover o alcance de melhor desempenho. Por outro lado, os produtores 1, 9, 10, 17, 19, 20, 22, 24 e 28 apresentaram um desempenho satisfatório esperado neste *input*.

Nesta perspectiva ressalta-se que a maioria das unidades amostrais pertencentes ao Grupo I e II necessitam de reduções para o valor financiado de crédito a fim de estabelecer uma cultura de eficiência e alto desempenho em suas propriedades. Vale lembrar que a concessão de crédito e seguro rural para produtores apresentou alta neste ano safra em decorrência de eventos climáticos indesejáveis que reduziram a produtividade de café em algumas regiões (PRONTI; COCCIA, 2021; GUIMARÃES et al, 2022). No entanto, há produtores que não realizaram estes aportes financeiros por falta de conhecimento e acesso a informações, mas também houveram àqueles que utilizaram estes aportes para a manutenção orçamentária de suas propriedades. Neste caso, verifica-se a criação de uma relação de dependência em algumas unidades amostrais, dificultando o progresso no desempenho.

Segundo o BCB (2022), dentre as principais oportunidades existentes para o financiamento de crédito podem ser citados o Programa de incentivo à inovação tecnológica (INOVAGRO), o Programa de defesa da economia cafeeira (FUNCAFÉ), o Programa para a Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (ABC+), o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura (PRONAF) e o Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor (PRONAMP). Diante disso, acentua-se a consideração de novos programas com foco na incorporação de práticas sustentáveis e inovadoras no cultivo do café.

No caso das linhas de crédito PRONAF e PRONAMP tratam-se de programas mais tradicionais voltados para a agricultura como um todo. A diferença entre estes consiste no público alvo a quem se destina os aportes financeiros, no caso do PRONAF, este se dedica ao apoio da agricultura familiar podendo ser desdobrado em subprogramas relacionados a bioeconomia, agroecologia, apoio a mulher e aos jovens no campo, entre outros (BCB, 2022). No caso do PRONAMP, este se destina ao médio produtor que detém 80% da sua renda bruta anual da atividade agropecuária ou extrativista (BCB, 2022). Nestes casos, os recursos podem ser utilizados para a operações de custeio, investimento ou assistência técnica de produção (GUIMARÃES et al, 2022).

Ademais, considerando o *output* mais correlacionado à CP3 (AdOrgan_prod), observa-se o destaque negativo dos produtores 13, 21, 27 e 28 por exemplo, que não alcançaram a fronteira de eficiência neste aspecto. Todavia, houveram àqueles produtores que alcançaram a eficiência almejada neste quantitativo, mas que ainda assim, destinam poucos recursos para a produção de adubo orgânico em suas propriedades, como é o caso das unidades amostrais 10, 17, 18, 19 e 24.

A produção de adubo orgânico e reinserção destes resíduos no sistema garante a maior fertilidade na produção e produtividade a baixos custos (PRONTI; COCCIA, 2021). Isto se

deve ao grande volume de nutrientes que pode ser obtido neste processo pelos cafezais, em especial de nitrogênio, que corresponde ao nutriente de maior demanda e conseqüentemente o de valor mais elevado (GUIMARÃES et al, 2022). Ademais, atenta-se para a utilização combinada de adubos verdes provenientes destes resíduos de café e de matéria orgânica de origem animal por alguns produtores, o que também tem apresentado bons resultados para o aumento de produtividade.

4.6 Análise complementar e comparativa entre os resultados obtidos a partir da aplicação da análise de componentes principais e da análise envoltória de dados

A análise comparativa entre os resultados obtidos nas técnicas *PCA* e *DEA* correspondem ao quarto e último estágio desta pesquisa. Neste âmbito, a priori, foram comparados os escores obtidos pela aplicação da *PCA* nas três primeiras componentes principais e os escores obtidos pela aplicação do modelo de supereficiência de *Banker e Chang* com orientação a *output* na *DEA* em cada *inlier* considerado para o ano safra de 2018-2019, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Comparativo entre os escores obtidos pela aplicação da *DEA* e da *PCA* no ano safra de 2018-2019 (Continua)

Produtores	DEA	Escore		
		PCA		
		CP1	CP2	CP3
Prod1	6,29%	-0,0093735	-0,8758242	-0,4573726
Prod5	39,96%	0,0974298	1,1064586	0,9906372
Prod6	100%	4,9928383	-0,6567528	-2,4508579
Prod7	100%	2,9349599	-0,9424077	1,9268924
Prod8	100%	-1,3439035	-2,2179206	0,2763422
Prod9	100%	1,1425025	2,0362746	0,7992459
Prod12	100%	1,1888953	0,4396674	1,5830574
Prod13	100%	-0,9510112	1,2972362	-0,6266904
Prod14	19,72%	1,4410117	-0,3656148	0,9786142
Prod16	100%	-0,5158299	1,3554755	-0,5366508
Prod17	54,92%	-0,8427204	-0,1575124	-0,1582733
Prod18	100%	-0,3590862	0,4413908	-0,9318351
Prod19	100%	-0,1228525	0,8099613	0,0757959
Prod20	100%	-0,9989238	0,4866239	-0,5410653
Prod23	100%	-1,0764253	-0,6349347	-0,1232527
Prod26	100%	-0,6940865	1,2310793	-0,5369151
Prod27	54,03%	-0,9056850	-0,6017134	-0,0038551

Tabela 19 – Comparativo entre os escores obtidos pela aplicação da *DEA* e da *PCA* no ano safra de 2018-2019 (Conclusão)

Produtores	DEA	Escores		
		PCA		
		CP1	CP2	CP3
Prod28	25,25%	-1,0358467	-1,0440570	0,0547675
Prod29	100%	-0,8743686	-0,6372061	0,0163433
Prod32	100%	-1,1066867	-0,8868411	-0,1024559
Prod33	100%	-0,9608376	-0,1833829	-0,2324720

Fonte: Do autor (2022)

Aqui, acentua-se o fato de haver divergências quanto a interpretação das técnicas *PCA* e *DEA*. Enquanto na Análise Envoltória de Dados as *DMUs* eficientes correspondem àquelas que alcançarem o valor máximo para os escores de eficiência, ou seja, a fronteira de eficiência de 100%, na Análise de Componentes Principais não necessariamente os *inliers* que obtiverem os maiores escores em uma componente terão o melhor desempenho. Isto se deve a configuração do modelo *BCC* que pode variar quanto a sua orientação, de modo que a avaliação de *inputs* e *outputs* do processo diverge. Frente a isso, foram ressaltadas as análises para os *inliers* com maior e menor escores para a *PCA*.

Com base na Tabela 19, pode-se verificar que os produtores 6 (Grupo II) e 8 (Grupo I) se destacaram com o maior e menor escores para a componente principal 1. Além disso, ambos apresentaram escores de 100% de eficiência para a técnica *DEA*. Sabe-se que a componente principal 1 sob a perspectiva dos *inputs* reflete a questão da preservação de recursos hídricos, já na ótica do *output* selecionado tem-se a questão do desempenho econômico baseado na renda bruta da propriedade. Nesse sentido, ressalta-se a discrepância existente entre estes dois produtores quanto aos valores alcançados para as três variáveis que compõe estes índices de desempenho. O produtor 8 apresentou valores muito inferiores nestas três variáveis em relação ao produtor 6, mesmo sendo ambos eficientes.

A análise deste cenário é interessante e necessária para o desdobramento de unidades eficientes, mas com elevados custos associados à sua gestão. Além disso, este contexto justifica a relevância de comparação da *PCA* e *DEA* enquanto técnicas de auxílio à tomada de decisão e gestão de desempenho organizacional. Diante disso, mesmo em um contexto de eficiência, para o produtor 6 aconselha-se a adoção de uma produção mais enxuta, com foco na ampliação de produtividade e renda de seu produtor, mas direcionada na redução de *inputs* como o tamanho da propriedade e volume de água consumida.

Ademais, ressaltam-se os casos dos produtores 13, 19, 20, 23, 26, 29, 32, 33 pertencentes ao Grupo I que atingiram a eficiência de 100% na aplicação da *DEA* e que alcançaram os alvos estipulados pelos *inputs* correlacionados à CP1. Tratam-se de unidades amostrais com baixos escores em módulo, o que configura uma posição intermediária próxima à origem no diagrama de ordenação de variáveis e indica um posicionamento prudente destes quanto a redução do consumo dos *inputs* e busca de alternativas para maximização do *output* Rend_prop.

Se tratando da componente principal 2, os produtores 8 (Grupo I) e 9 (Grupo III) apresentaram destaque com o menor e o maior escore para a componente. Já os resultados de aplicação da *DEA* indicaram a eficiência máxima para ambos *inliers*. A segunda componente correspondeu ao índice de desempenho da mão de obra, o que favoreceu a análise da maior fonte de custos na cafeicultura para os *inliers* considerados. Assim, no caso do produtor 9, este não apresentou utilização de mão de obra feminina, no entanto, ainda assim pode ser uma unidade que apresente altos custos com mão de obra masculina, visto que se trata de uma propriedade dotada de um sistema semimecanizado de produção e que detém cerca de 40% da sua área destinada ao plantio de café.

Por outro lado, o produtor 8 apresentou uma utilização de mão de obra feminina na ordem de 75% da sua força de trabalho. Todavia, ressaltam-se nesta propriedade a ocorrência de um baixo quantitativo de área plantada de café e a isenção de sistemas de irrigação, o que pode ter relação com a redução de produtividade e renda deste produtor. Neste sentido, outros *inliers* apresentaram um cenário semelhante, pautado no alcance da fronteira de eficiência e dos alvos estipulados pela *PCA*, a saber, os produtores 13, 16 e 26. Nestes casos, acentua-se também a ocorrência de escores intermediários para a composição do diagrama de ordenação de variáveis. Vale ressaltar o caso dos produtores 14 e 17, que alcançaram o alvo para o *input* Qtd_M, mas uma eficiência de apenas 19,72% e 54,92% respectivamente quanto a aplicação da *DEA*. Isso reflete a dificuldade destes produtores na gestão efetiva de recursos de produção. Aliás, tratam-se de unidades com alto consumo de recursos hídricos e renda não condizente à capacidade produtiva destas propriedades.

Por fim, no caso da terceira componente principal, os produtores 6 e 7 apresentaram os escores de menor e maior valor respectivamente. Além disso, também atingiram a fronteira de eficiência estipulada pela técnica *DEA*. A componente principal 3 contemplou a questão da distribuição geográfica da produção, permitindo a análise da utilização efetiva das propriedades quanto às suas áreas de plantio. Nesta oportunidade, o produtor 6 obteve maior êxito em seu resultado comparado ao produtor 7. Isto porque o produtor 6 apresentou um consumo menor deste *input* e uma renda (*output*) quase compatível ao produtor 7. Dessa maneira, mesmo sendo

considerado eficiente para a *DEA*, considera-se importante na perspectiva da *PCA* que esta unidade reflita sobre a redução de sua área plantada e no maior investimento em modelos inovadores de manejo e tecnologias de produção a fim de atingir novos patamares de produtividade.

Desta maneira, cabe lembrar os casos dos produtores 20, 23, 29, 32 e 33 que foram efetivos na obtenção de baixos escores para a variável *Area_cafe*, no alcance dos alvos para este *input* e da fronteira de eficiência enunciada pela *DEA*. Todavia, tratam-se de unidades com rendas relativamente pequenas, abaixo da média (R\$ 187.977,68) calculada entre estes 21 *inliers*. Aqui, reitera-se a importância no desenvolvimento de alternativas de ampliação da renda, tais como a busca por modelos sustentáveis de produção, agregação de valor ao produto final e inovação nos processos de cultivo para aumento de produtividade.

Analogamente, foi realizado o comparativo entre os escores obtidos pela aplicação destas técnicas considerando o ano safra de 2020-2021 conforme apresentado pela Tabela 20. Neste caso, foram comparados os resultados dos escores de 23 *inliers* obtidos na *DEA* e nas três primeiras componentes principais a partir da *PCA*.

Tabela 20 – Comparativo entre os escores obtidos pela aplicação da *DEA* e da *PCA* no ano safra de 2020-2021 (Continua)

Produtores	DEA	Escore		
		PCA		
		CP1	CP2	CP3
Prod1	82,79%	0,6025215	0,2067467	-1,4898716
Prod3	100%	-1,5699827	0,2957243	2,004099
Prod8	100%	0,3371262	-1,7926574	-0,6898823
Prod9	100%	-3,4468658	-0,0823991	0,7938287
Prod10	100%	-2,5567042	0,6052287	-0,9002874
Prod11	73,10%	0,4449758	-0,8004075	1,834324
Prod13	26,26%	0,3232527	-2,03725	-0,3986987
Prod14	83,33%	-0,6974889	0,1227348	1,7709698
Prod15	65,24%	0,7500665	0,5163365	1,0650006
Prod16	70,33%	0,8260417	0,950585	-0,0331886
Prod17	100,00%	0,6247415	0,4106114	-1,170039
Prod18	100,00%	1,634568	2,984596	0,3498904
Prod19	100,00%	0,2224735	-0,6225075	-1,52883
Prod20	100,00%	0,2250347	-1,2010703	-0,3678713
Prod21	87,26%	1,3313267	1,0249822	-0,035815
Prod22	100,00%	0,8688906	0,5550337	-1,1076287
Prod23	100,00%	0,7485836	0,131552	0,5981152
Prod24	100,00%	-3,58897	1,2321045	-1,4953528

Tabela 20 – Comparativo entre os escores obtidos pela aplicação da *DEA* e da *PCA* no ano safra de 2020-2021 (Conclusão)

Produtores	DEA	Escore		
		PCA		
		CP1	CP2	CP3
Prod27	69,48%	0,9208466	0,3304246	-0,3875118
Prod28	81,67%	0,5240911	-1,0227658	-0,4465966
Prod29	100,00%	0,1584408	-1,5136314	0,5086571
Prod30	100,00%	0,305097	-0,9262103	0,5159754
Prod33	100,00%	1,0119343	0,6322352	0,6107134

Fonte: Do autor (2022)

Os resultados apresentados na Tabela 20 revelam para a componente principal 1 o destaque dos *inliers* 18 e 24. Além do mais, para ambos *inliers* foi verificada uma eficiência de 100% como resultado da aplicação da *DEA*. Esta componente pôde ser analisada em duas perspectivas, sob a ótica do *input* Area_cafe a partir do índice de distribuição geográfica da produção, e sob a ótica do *output* Rend_prop a partir do índice de desempenho econômico baseado na renda bruta da propriedade. Neste âmbito, o produtor 18 apresentou o maior escore para a CP1, todavia, correspondeu a uma unidade com baixa renda mesmo com avanços verificados no contexto tecnológico, onde 50% da renda é destinada para projetos de inserção tecnológica no campo. Assim, acredita-se que isso pode ter relação com a realização de grandes aportes de crédito neste período de análise, como forma de manutenção da vida produtiva desta unidade. Entretanto, configura uma medida arriscada em termos econômicos por gerar endividamento do produtor e realocação de recursos gerados nestas propriedades.

Em relação ao produtor 24 algumas considerações podem ser realizadas. Primeiramente, mesmo alcançando a fronteira de eficiência estipulada pela *DEA*, esta unidade amostral apresentou a maior área disponível para cultivo dentre todos os 23 *inliers*. Ademais, sob a perspectiva sustentável de produção, esta unidade tem sido marcada pelo baixo investimento em inovação para inserção de modelos sustentáveis de produção e na reinserção de resíduos gerados na produção, haja vista o seu grande potencial de produção de adubo orgânico em área cultivada. Assim, sugere-se que este produtor considere em anos safra futuros a inserção de modelos mais sustentáveis de produção e redução de sua área cultivada, sem que haja um grande comprometimento de sua renda. Este cenário coincide com os padrões de análise do modelo *BCC* orientado a *outputs*, onde preza-se pela redução de entradas e maximização de saídas do sistema.

Conforme a análise da segunda componente principal, os *inliers* 13 e 18 apresentaram o menor e maior valor dentre os 23 escores apresentados. Em relação ao resultado da aplicação

da *DEA*, o *inlier* 13 apresentou um escore de 26,26% indicando ineficiência de desempenho. Já o *inlier* 18 apresentou 100% de eficiência para o mesmo quantitativo. No que se refere a CP3, esta correspondeu ao índice de desempenho na redução de insumos químicos na ótica do *input* QtdInsum_prod, e ao índice de desempenho em inovação para inserção de modelos sustentáveis de produção sob a perspectiva do *output* Rend_tec.

Dessa forma, em relação ao produtor 18, novamente verificou-se uma parcela considerável da renda destinada a tecnologias para fins sustentáveis de produção. Todavia, pouco foi realizado por esta propriedade na produção de adubo orgânico, fato que poderia reduzir os custos de produção e ampliar a margem deste produtor. Além disso, em relação a variável QtdInsum_prod, acentua-se uma dependência nesta unidade quanto a utilização de insumos químicos na produção, todavia, seu desempenho neste aspecto foi superior à média dos *inliers*, representando o segundo maior consumo deste *input*.

No que se refere ao produtor 13, questões como a falta de maiores investimentos em tecnologia para fins sustentáveis, a alta dependência do uso de insumos químicos e quantidade reduzida de adubo orgânico produzido tem relação com o baixo escore de eficiência apresentado nesta unidade. Neste sentido, recomenda-se para esta unidade que seja realizado um incentivo maior para melhoria de desempenho no campo sustentável de atuação desta unidade. Assim, este produtor conseguirá reduzir custos e ampliar a qualidade de produção, agregando maior valor ao produto final, elevando sua renda.

Em relação a componente principal 3, foram ressaltados os produtores 3 e 19 com o maior e menor escores. Por outro lado, a técnica *DEA* indicou o alcance da fronteira de eficiência para ambos *inliers*. Esta componente correspondeu ao índice de desempenho quanto a dependência de agentes financeiros sob a ótica do *input* Cred_financ e ao índice de desempenho na reinserção de resíduos gerados na produção do ponto de vista do *output* AdOrgan_prod. Frente a isso, o produtor 3 apresentou uma configuração adequada, pautada no investimento de cerca de 20% de sua renda em tecnologias de fins sustentáveis, alta produção de adubo orgânico, consumo moderado de insumos químicos e baixo quantitativo para o *input* Area_cafe. Todavia, a fim de promover o seu melhor desempenho sugere-se a redução de aportes de crédito ao longo dos anos, e a concentração de esforços para a ampliação da renda a partir de um modelo de produção sustentável.

Por fim, o produtor 19 apresentou uma configuração intermediária dentre os *inliers* analisados, o que sugere a adoção de uma gestão de desempenho prudente à medida que se tem pouca fonte de receitas, mas também de custos de produção. No entanto, a reordenação do consumo de recursos nesta unidade poderá significar na ampliação de seu desempenho. Para

tanto, acentua-se a incorporação de novos investimentos em tecnologia para fins sustentáveis de produção bem como a criação de alternativas de produção de adubo orgânico em maiores quantidades e redução do uso de insumos químicos nesta unidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão de desempenho da cafeicultura no Brasil trata-se de um tema amplo que necessita de estudos com maior nível de detalhamento e rigor na apresentação de resultados. Isto se deve ao fato deste envolver um conjunto elevado de pessoas interessadas no campo de análise. Além disso, estudos desta magnitude tem fundamental importância na geração de conteúdo que norteará a tomada de decisões de produtores e afins. Sendo assim, este estudo apresentou com êxito a consideração dos cenários demarcados pelos anos safra de 2018-2019 e 2020-2021.

Em relação ao ano safra 2018-2019 alguns apontamentos puderam ser realizados. A priori, foi um ano caracterizado pela busca por alternativas de aumento da renda das propriedades em razão dos preços reduzidos pagos ao produtor. Além disso, a utilização de insumos como fertilizantes, corretivos e defensivos esteve presente a fim de garantir a maior produtividade nestas áreas. Ademais, ressalta-se uma superioridade na capacidade produtiva de quase metade das unidades amostrais analisadas na comparação com o ano safra de 2020-2021. Outrossim, notou-se a predominância do sistema manual de cultivo em ambos os anos safra.

Todavia, no que se refere ao ano safra 2020-2021, este foi caracterizado pela maior inserção de práticas sustentáveis de produção, a partir do aumento de investimentos em tecnologias voltadas para este fim. Aliás, foi um ano em que os produtores intensificaram a utilização de adubo orgânico como uma alternativa economicamente viável, já que a alta de insumos foi uma das consequências de crises econômica e sanitária vivenciadas pelos produtores neste período. Assim, cabe lembrar a importância do apoio financeiro de algumas instituições públicas e privadas na concessão de crédito a estes produtores. Este fato garantiu a manutenção das atividades de alguns *inliers* que apresentaram perdas de produção pela ocorrência de eventos climáticos indesejáveis por exemplo. Em geral, foi um ano marcado por altas receitas, mas altos custos operacionais efetivos, o que refletiu em um número menor de *DMUs* eficientes em relação ao ano safra anterior.

Nesta ocasião considera-se que o objetivo deste estudo foi alcançado, uma vez que os quatro estágios estipulados nos procedimentos metodológicos foram cumpridos. Além disso, o objetivo geral que correspondeu em avaliar o desempenho das principais regiões produtoras de cafés tipo Arábica e *Conilon* do Brasil nos anos safra de 2018-2019 e 2020-2021, através da aplicação das técnicas Análise de Componentes Principais (*PCA*) e Análise Envoltória de Dados (*DEA*) foi desenvolvido, de modo a fortalecer o campo das pesquisas na área e, sobretudo, gerar informações relevantes para os produtores de café do Brasil.

Frente a isso, como contribuições gerenciais deste estudo pode-se ressaltar a identificação de produtores ineficientes e, sobretudo, das variáveis mais impactantes no desempenho destas unidades amostrais para que restabeleçam suas eficiências. Posto isso, este estudo realizou desdobramentos das unidades amostrais para os anos safra de 2018-2019 e 2020-2021 a partir das variáveis mais correlacionadas as três primeiras componentes principais (CP1, CP2 e CP3). Esta análise permitiu com clareza a identificação de algumas folgas nos *inputs* e *outputs* considerados para cada *inlier* abordado nos dois anos de análise.

Cabe lembrar o apelo sustentável deste estudo que se origina a partir da consideração da dimensão “Economia Circular” dentre as outras dimensões elucidadas. Desta maneira, o estudo trouxe contribuições sociais à medida que se gerou indicadores de caráter sustentável para medição de desempenho dos produtores. O comprometimento por parte dos produtores com a implementação de boas práticas de produção que promovam incentivos a sustentabilidade em seus diversos seguimentos também é uma questão social.

Se tratando das contribuições teóricas, pode-se ressaltar a consideração de dados primários e secundários relacionados as 12 principais regiões produtoras de café no Brasil, bem como a realização de uma análise comparativa de dois anos safra recentes que caracterizam os cenários de crises econômicas, ambientais e de saúde pública no país. Assim, este estudo cria condições para a geração de índices de desempenho comparáveis para os períodos de análise e entre as próprias unidades amostrais.

O estudo também se ateve a apresentação de suas limitações. Estas estiveram relacionadas ao pesquisador na escolha de etapas metodológicas para o melhor ajuste e apresentação de resultados, ao contexto da pandemia por Covid-19 que inviabilizou a coleta de dados presencial, a utilização de uma base estritamente financeira para complementar a coleta de dados referente ao projeto Campo Futuro do CIM/UFLA e à restrição metodológica de que o número de *DMUs* deve ser três vezes superior ao número de variáveis originais selecionadas para a aplicação da técnica *DEA*.

A fim de propor uma agenda de estudos futuros, sugere-se a replicação deste estudo para outras culturas, a ampliação do conjunto amostral a fim de aumentar a quantidade de variáveis originais consideradas, a aplicação e combinação de novas técnicas como a Modelagem de Equações Estruturais (MEE), bem como um estudo mais detalhado sobre a eficiência de cada região produtora e seus respectivos *benchmarks*. Estas alternativas de estudos se mostram relevantes à medida que tragam em suas análises o viés prático para o dia-a-dia dos produtores, a fim de contribuir para os processos de tomada de decisões no sentido da melhoria contínua em suas rendas, capacidade produtiva e redução de custos.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, Junico. **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta**. Bookman Editora, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ - ABIC. **Estatísticas**. 2020. Disponível em: <https://www.abic.com.br/certificacao/sustentabilidade/>. Acesso em: 22 dez. 2020.

AVRAAMIDOU, Styliani et al. Circular Economy-A challenge and an opportunity for Process Systems Engineering. **Computers & Chemical Engineering**, v. 133, p. 106629, 2020.

BANKER, Rajiv D.; CHANG, Hsihui. The super-efficiency procedure for outlier identification, not for ranking efficient units. **European journal of operational research**, v. 175, n. 2, p. 1311-1320, 2006.

BASIAS, Nikolaos; POLLALIS, Yannis. Quantitative and qualitative research in business & technology: Justifying a suitable research methodology. **Review of Integrative Business and Economics Research**, v. 7, p. 91-105, 2018.

BCB. **MCR: Manual do Crédito Rural, 2022**. Disponível em: <<http://www3.bcb.gov.br/mcr/>>. Acesso em: 15 set. 2022.

BEHNASSI, Mohamed; EL HAIBA, Mahjoub. Implications of the Russia–Ukraine war for global food security. **Nature Human Behaviour**, p. 1-2, 2022.

BELLIDO-ARCAS, Fernando; RAMIREZ-VALDIVIA, Cesar; RAYMUNDO, Carlos. Management Model Based on the Application of the DEA (Data Envelopment Analysis) and 5s Method to Improve the Efficiency of Production Processes in the Coffee Agronomic Sector. In: **International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics**. Springer, Cham, 2021. p. 409-416.

BESANKO, David; BRAEUTIGAM, Ronald. *Microeconomics*. John Wiley & Sons, 2020.

BRANCO, Iana Giesbrecht Castello; DOS SANTOS, Andréa Cristina. Design for sustainable supply chain: the case of specialty coffees production. **Product: Management and Development**, v. 16, n. 2, p. 122-133, 2019.

BRIONES PEÑALVER, Antonio Juan; BERNAL CONESA, Juan Andrés; DE NIEVES NIETO, Carmen. Analysis of corporate social responsibility in Spanish agribusiness and its influence on innovation and performance. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 25, n. 2, p. 182-193, 2018.

BROWN, Trevor C. et al. Performance management: A scoping review of the literature and an agenda for future research. **Human Resource Development Review**, v. 18, n. 1, p. 47-82, 2019.

BROWNING, Edgar K.; ZUPAN, Mark A. **Microeconomics: Theory and applications**. John Wiley & Sons, 2020.

BULGA, Fikadu Gutu; DEMISSIE, Wondaferahu Mulugeta; WHAKESHUM, Sisay Tolla. Economic Impact of Fair-Trade Certification on Small-Scale Coffee Producers in Ethiopia. **Journal of International Trade, Logistics and Law**, v. 6, n. 1, p. 52-60, 2020.

CALLADO, Antônio André Cunha; JACK, Lisa. Supply chain roles and performance measurement procedures: evidence from Brazilian agribusiness companies. In: **Supply Chain Forum: An International Journal**. Taylor & Francis, 2021. p. 370-380.

CERRADO MINEIRO (Brasil). **A Região do Cerrado Mineiro**. 2020. Disponível em: <https://www.cerradomineiro.org/index.php?pg=home>. Acesso em: 22 dez. 2020.

CHOFREH, Abdoumohammad Gholamzadeh et al. Covid-19 shock: Development of strategic management framework for global energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 139, p. 110643, 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB (Brasília). **Clima é favorável ao arábica e safra brasileira de café é a segunda maior da história**. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3625-clima-e-favoravel-ao-arabica-e-safra-brasileira-de-cafe-e-a-segunda-maior-da-historia>. Acesso em: 24 maio 2022.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL - CNA. **Panorama do Agro - Semana 16 a 20 de maio de 2022**. 2022. Disponível em: <https://www.CNAbrasil.org.br/boletins/panorama-2022-05-21>. Acesso em: 24 maio 2022.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL - CNA Brasil. **Projeto Campo Futuro inicia levantamentos de custos de produção em 2022**. 2022. Disponível em: <https://www.CNAbrasil.org.br/noticias/projeto-campo-futuro-inicia-levantamentos-de-custos-de-producao-em-2022>. Acesso em: 24 maio 2022.

CONSELHO DE EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL – CECAFE. **Exportação de café do Brasil avança 14% ante novembro de 2021**. 2022. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/site/>. Acesso em: 13 dez. 2022.

COOPER, William W.; SEIFORD, Lawrence M.; ZHU, Joe (Ed.). Handbook on data envelopment analysis. 2011.

CORREIA, Paula Ferreira da Cruz; REIS, João Gilberto Mendes dos. How Technologies Are Working in the Coffee Sector. In: **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**. Springer, Cham, 2022. p. 66-73.

COSTA, Bruna De Ribeiro. Brazilian specialty coffee scenario. In: **Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil**. Woodhead Publishing, 2020. p. 51-64.

CUI, Li et al. Constructing a hierarchical agribusiness framework in Chinese belt and road initiatives under uncertainty. **Sustainability**, v. 10, n. 1, p. 251, 2018.

DAMKE, Luana Inês et al. Sustainable management practices and innovation capacity in family agribusinesses. **Environmental Quality Management**, v. 30, n. 4, p. 5-20, 2021.

SILVA, Warley Henrique Da; GUARNIERI, Patrícia; CARVALHO, José Márcio. Sustainable practices in the coffee supply chain in the Cerrado Mineiro Region, Brazil. **Journal of Operations and Supply Chain Management (JOSCM)**, v. 11, n. 2, p. 90-100, 2018.

DAVIDAVIČIENĖ, Vida. Research Methodology: An Introduction. In: **Modernizing the Academic Teaching and Research Environment**. Springer, Cham, 2018. p. 1-23.

DE ALMEIDA, Luciana Florêncio; ZYLBERSZTAJN, Decio. Key success factors in the brazilian coffee agrichain: Present and future challenges. **International Journal on Food System Dynamics**, v. 8, n. 1, p. 45-53, 2017.

DUAN, Sophia Xiaoxia; WIBOWO, Santoso; CHONG, Josephine. A multicriteria analysis approach for evaluating the performance of agriculture decision support systems for sustainable agribusiness. **Mathematics**, v. 9, n. 8, p. 884, 2021.

ELOCK SON, Célestin; MÜLLER, Joël; DJUATIO, Emmanuel. Logistic outsourcing risks management and performance under the mediation of customer service in agribusiness. In: **Supply Chain Forum: An International Journal**. Taylor & Francis, 2019. p. 280-298.

ESTRADA, Leonel Lara; RASCHE, Livia; SCHNEIDER, Uwe A. Modeling land suitability for *Coffea arabica* L. in Central America. **Environmental Modelling & Software**, v. 95, p. 196-209, 2017.

COOPERATIVA DOS CAFEICULTORES DO CERRADO - EXPOCACER (Brasil). **Região do Cerrado Mineiro**. 2020. Disponível em: <https://expocacer.com.br/institucional/regiao-do-cerrado-mineiro/>. Acesso em: 22 dez. 2020.

FERNANDES, André Luís Teixeira et al. Use of organic fertilization with irrigation in coffee production in brazilian cerrado. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, 2020.

FERNÁNDEZ-CORTÉS, Yessica; SOTTO-RODRÍGUEZ, Karla Daniela; VARGAS-MARÍN, Luis Alberto. Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. **Producción+ Limpia**, v. 15, n. 1, p. 93-110, 2020.

FERREIRA, CARLOS MAURICIO DE CARVALHO FERREIRA. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. UFV, 2009.

FERREIRA, Daniel Furtado. **Estatística multivariada**. Lavras: Editora Ufla, 2011.

FIGUEIREDO, Thamires Rafaga Campos. **Análise da eficiência dos produtores de leite da região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba**. 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO (Brasil). **FAO no Brasil**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/>. Acesso em: 22 dez. 2020.

FRANCO-SANTOS, Monica; OTLEY, David. Reviewing and theorizing the unintended consequences of performance management systems. **International Journal of Management Reviews**, v. 20, n. 3, p. 696-730, 2018.

GACHUHI, Lucy; AWUOR, Emmanuel. Strategic Management Practices and Sustainability of SMEs Agribusiness in Kenya: A Survey of Githunguri Sub County. **Journal of Agriculture**, v. 3, n. 1, 2019.

GAZDA, Hanna T. et al. Defective ribosomal protein gene expression alters transcription, translation, apoptosis, and oncogenic pathways in Diamond-Blackfan anemia. **Stem Cells**, v. 24, n. 9, p. 2034-2044, 2006.

GIANNINI, Tereza Cristina et al. Efeito das mudanças climáticas sobre os polinizadores de algumas culturas agrícolas no Brasil, 2017.

GOMES, L. C. et al. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: a spatially explicit assessment in Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 294, p. 106858, 2020.

GOOGLE EARTH. **Regiões produtoras de café no Brasil**. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-15.15734038,-54.30868564,-1527.90493348a,6923580.62990785d,35y,0h,0t,0r>>. Acesso em: 10 dez. 2022.

GRANATO, Daniel et al. Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective. **Trends in Food Science & Technology**, v. 72, p. 83-90, 2018.

GUIMARÃES, Yana Medeiros et al. Drivers and barriers in sustainable supply chains: The case of the Brazilian coffee industry. **Sustainable Production and Consumption**, v. 34, p. 42-54, 2022.

HEIDENREICH, Anja et al. Sustainable intensification pathways in Sub-Saharan Africa: Assessing eco-efficiency of smallholder perennial cash crop production. **Agricultural Systems**, v. 195, p. 103304, 2022.

HO, Thong Quoc et al. Eco-efficiency analysis of sustainability-certified coffee production in Vietnam. **Journal of cleaner production**, v. 183, p. 251-260, 2018.

HO, Thong Quoc; HOANG, Viet-Ngu; WILSON, Clevo. Sustainability certification and water efficiency in coffee farming: The role of irrigation technologies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 180, p. 106175, 2022.

HOSAMANI, S. B.; HIREMATH, G. K.; SASTRY, KN Ranganath. Financial dimensions influencing the performance of a RRB: Principal Component Approach. **Karnataka Journal of Agricultural Sciences**, v. 9, n. 4, p. 43-46, 1996.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO (London). **Coffee's next generation**. 2020. Disponível em: <http://www.ico.org/>. Acesso em: 22 dez. 2020.

JEZEER, Rosalien E. et al. Effects of shade and input management on economic performance of small-scale Peruvian coffee systems. **Agricultural systems**, v. 162, p. 179-190, 2018.

JIMÉNEZ-ORTEGA, Aldo Daniel et al. *Changes over Time Matter: A Cycle of Participatory Sustainability Assessment of Organic Coffee in Chiapas, Mexico*. **Sustainability**, v. 14, n. 4, p. 2012, 2022.

JOHNSON, Richard A. et al. *Applied multivariate statistical analysis*. **New Jersey**, v. 405, 2007.

JORDAN, Carl F. Energy analysis of coffee production systems: implications for environmental and economic sustainability. In: **Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty**. Springer, Cham, 2017. p. 151-164.

KOHL, Sebastian et al. The use of Data Envelopment Analysis (DEA) in healthcare with a focus on hospitals. **Health care management science**, v. 22, n. 2, p. 245-286, 2019.

LA SCALIA, Giada et al. Coffee biowaste valorization within circular economy: an evaluation method of spent coffee grounds potentials for mortar production. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 26, n. 9, p. 1805-1815, 2021.

LEAVY, Patricia. **Research design: Quantitative, qualitative, mixed methods, arts-based, and community-based participatory research approaches**. Guilford Publications, 2022.

LEMEILLEUR, Sylvaine et al. Coffee farmers' incentives to comply with sustainability standards. **Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies**, v. 10, n. 4, p. 365-383, 2020.

LINGNAU, Volker; FUCHS, Florian; BEHAM, Florian. The impact of sustainability in coffee production on consumers' willingness to pay—new evidence from the field of ethical consumption. **Journal of Management Control**, v. 30, n. 1, p. 65-93, 2019.

MARIYONO, Joko. Improvement of economic and sustainability performance of agribusiness management using ecological technologies in Indonesia. **International Journal of Productivity and Performance Management**, 2019.

MERCANZINI, André et al. Demonstration of cortical recording using novel flexible polymer neural probes. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 143, n. 1, p. 90-96, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA (Brasil). **Insumos agrícolas**. (2020). Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas>. Acesso em: 22 dez. 2020.

MIRANDA, Felipe Rodrigues; DRUMOND, Luis Cesar Dias; RONCHI, Claudio Pagotto. Synchronizing coffee blossoming and fruit ripening in irrigated crops of the Brazilian Cerrado Mineiro Region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 4, p. 605-613, 2020.

MONACO, Paola Alfonsa Vieira Lo et al. Reuse of Residues as Substrate for Production of Eucalyptus (*Eucalyptus urograndis*) Seedlings. **Floresta e Ambiente**, v. 27, 2020.

MURILLO-ZAMORANO, Luis R. Economic efficiency and frontier techniques. **Journal of Economic surveys**, v. 18, n. 1, p. 33-77, 2004.

NIGRI, Giorgia; DEL BALDO, Mara. Sustainability reporting and performance measurement systems: How do small-and medium-sized benefit corporations manage integration?. **Sustainability**, v. 10, n. 12, p. 4499, 2018.

OMUYA, Erick Odhiambo; OKEYO, George Onyango; KIMWELE, Michael Waema. Feature selection for classification using principal component analysis and information gain. **Expert Systems with Applications**, v. 174, p. 114765, 2021.

PEIXOTO, Maria Gabriela Mendonça. **Análise envoltória de dados e análise de componentes principais: uma proposta de medição do desempenho de organizações hospitalares sob a perspectiva de hospitais universitários federais do Brasil**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PEIXOTO, Maria Gabriela Mendonça; MUSETTI, Marcel Andreotti; DE MENDONÇA, Maria Cristina Angélico. Performance management in hospital organizations from the perspective of Principal Component Analysis and Data Envelopment Analysis: the case of Federal University Hospitals in Brazil. **Computers & Industrial Engineering**, v. 150, p. 106873, 2020.

PEYKANI, Pejman et al. Fuzzy data envelopment analysis: an adjustable approach. **Expert Systems with Applications**, v. 136, p. 439-452, 2019.

PINDYCK, Robert; RUBINFELD, Daniel. **Macroeconomms, (Global edition)**. Pearson Education, 2018.

PRONTI, Andrea; COCCIA, Mario. Multicriteria analysis of the sustainability performance between agroecological and conventional coffee farms in the East Region of Minas Gerais (Brazil). **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 36, n. 3, p. 299-306, 2021.

PROSEKOV, Alexander Y.; IVANOVA, Svetlana A. Food security: The challenge of the present. **Geoforum**, v. 91, p. 73-77, 2018.

PUSPITANINGRUM, Dwi Aulia et al. Study of Beef Availability Potential in Yogyakarta Special Province (DIY) through Multi Criteria Analysis (MCA) Model by Spatial Geographic Information System. **Agritech**, v. 38, n. 1, p. 71-78, 2018.

RAHN, Eric et al. Exploring adaptation strategies of coffee production to climate *Change* using a process-based model. **Ecological Modelling**, v. 371, p. 76-89, 2018.

RAINFOREST ALLIANCE CERTIFICATION. **Support our work**. (2020). Disponível em: <https://www.rainforest-alliance.org/>. Acesso em: 22 dez. 2020.

RIAÑO-CALDERÓN, Nicolás; RIAÑO-LUNA, Campo; MUÑOZ-PEÑA, Fernando. Proposal of a model to determine the sustainability and profitability of the differentiated coffee production chain. **LATIN AMERICAN JOURNAL OF APPLIED ENGINEERING**, v. 6, n. 1, p. 59-66, 2021.

RIBEIRO, Lorena Luiza; SILVA, Stefania Ferreira; PIMENTA, Marcio Lopes. Cross-Functional Integration at Agribusiness Brazilian Organizations. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 6, n. 1, 2020.

RODRÍGUEZ, Cristian Méndez et al. A multi-criteria approach for comparison of environmental assessment methods in the analysis of the energy efficiency in agricultural production systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 1464-1471, 2019.

SANTOS, Roberta de Oliveira et al. Principal component analysis and factor analysis: Differences and similarities in nutritional epidemiology application. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 22, 2019.

SANTOS, Vagner Piedade; RIBEIRO, Priscilla Cristina Cabral; RODRIGUES, Luciano Brito. Sustainability assessment of coffee production in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-20, 2022.

SARKODIE, Samuel Asumadu; OWUSU, Phebe Asantewaa. Impact of COVID-19 pandemic on waste management. **Environment, development and sustainability**, v. 23, n. 5, p. 7951-7960, 2021.

SAVIĆ, Bojan; VASILJEVIĆ, Zorica; MILOJEVIĆ, Ivan. Costing system as an instrument for enhancing environmental performance of entities in agribusiness. **Ekonomika preduzeća**, v. 68, n. 3-4, p. 294-303, 2020.

SHARMA, Navin et al. Predicting solar generation from weather forecasts using machine learning. In: **2011 IEEE international conference on smart grid communications (SmartGridComm)**. IEEE, 2011. p. 528-533.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO [SEAPA] (Brasil). **Demanda por cafés diferenciados cresce e deve favorecer exportações em 2020**. 2020. Disponível em:

<http://www.agricultura.mg.gov.br/index.php/component/gmg/story/3650-demanda-por-cafes-diferenciados-cresce-e-deve-favorecer-exportacoes-em-2020>. Acesso em: 22 dez. 2020.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE (Brasil). **Conheça as categorias de certificação do café**. 2020. Disponível em:

<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/conheca-as-categorias-de-certificacao-do-cafe,611b9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 22 dez. 2020.

SINHA, Sanjana et al. Digital video watermarking using discrete wavelet transform and principal component analysis. **International Journal of Wisdom Based Computing**, v. 1, n. 2, p. 7-12, 2011.

TADAYON, Farhad; LIU, Ming C. Principal component analysis: a tool for assembly management. **Computers & industrial engineering**, v. 25, n. 1-4, p. 77-80, 1993.

TEY, Yeong Sheng et al. Early mover advantage in Roundtable on Sustainable Palm Oil certification: A panel evidence of plantation companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, p. 119775, 2020.

TRAN, Duyen Nhat Lam et al. Improving Irrigation Water Use Efficiency of Robusta Coffee (*Coffea canephora*) Production in Lam Dong Province, Vietnam. **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6603, 2021.

TSENG, Steven T.; LEVY, Paul E. A multilevel leadership process framework of performance management. **Human Resource Management Review**, v. 29, n. 4, p. 100668, 2019.

VAN KEULEN, Maarten; KIRCHHERR, Julian. The implementation of the Circular Economy: Barriers and enablers in the coffee value chain. **Journal of cleaner production**, v. 281, p. 125033, 2021.

VEGRO, Celso Luis Rodrigues; DE ALMEIDA, Luciana Florêncio. Global coffee market: Socio-economic and cultural dynamics. In: **Coffee consumption and industry strategies in Brazil**. Woodhead Publishing, 2020. p. 3-19.

VOLSI, Bruno et al. The dynamics of coffee production in Brazil. **PloS one**, v. 14, n. 7, p. e0219742, 2019.

WEBSTER, Thomas J. A principal component analysis of the US News & World Report tier rankings of colleges and universities. **Economics of Education Review**, v. 20, n. 3, p. 235-244, 2001.

WINTER, Eva et al. Evaluating the sustainability performance of typical conventional and certified coffee production systems in Brazil and Ethiopia based on expert judgements. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 49, 2020.

ZANGIROLAMI-RAIMUNDO, Juliana; ECHEIMBERG, Jorge de Oliveira; LEONE, Claudio. Research methodology topics: Cross-sectional studies. **Journal of Human Growth and Development**, v. 28, n. 3, p. 356-360, 2018.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PRODUTORES

Este questionário foi desenvolvido por membros do Centro de Inteligência em Gestão e Mercados/CIM-UFLA e do Grupo de Pesquisa em Eficiência Energética e Sustentabilidade da Universidade do Sul de Santa Catarina/Unisul em parceria com a CNA e algumas Universidades Federais do Brasil com fins acadêmicos e técnicos, em especial, com o Programa de Pós-graduação em Administração - PPGA da Universidade Federal de Lavras/UFLA, a fim de contribuir com o aumento de desempenho das principais regiões produtoras de café no Brasil participantes do Projeto Campo Futuro/CNA. Peço que por gentileza nos auxiliem em nossa pesquisa completando o quadro com as informações listadas.

Assinale a região produtora mais próxima de sua propriedade:

- () Cacoal/RO () Franca/SP () Itabela/BA () Caconde/SP () Capelinha/MG
 () Guaxupé/MG () Santa Rita do Sapucaí/MG () Brejetuba/ES () Cachoeiro do Itapemirim/ES () Londrina/PR () Poço Fundo/MG () Manhumirim/MG

Quadro A – Questionário (Continua)

Categoria	Indicador	Definição	Região produtora	
			Dados do ano safra 2018-2019	Dados do ano safra de 2020-2021
Demográfica	Gênero	Quantidade de homens trabalhando na propriedade, em percentual (%)?		
		Quantidade de mulheres trabalhando na propriedade, em percentual (%)?		
	Idade	Média de idade dos produtores (homens e mulheres)?		
	Nível de escolaridade dos produtores	Qual o nível de escolaridade médio dos produtores, em anos?		
	Número de mulheres em funções administrativas	Qual a quantidade de mulheres na gestão das propriedades, em percentual (%)?		
Socioeconômica	Tempo de existência	Qual o tempo de existência da propriedade, em anos?		
	Acidentes de trabalho ocorridos no ano	Qual o número de acidentes de trabalho ocorridos por ano, em unidades?		
Agrícola	Experiência agrícola dos produtores	Qual o tempo médio de experiência dos produtores, em anos?		

Quadro A – Questionário (Continua)

Categoria	Indicador	Definição	Região produtora	
			Dados do ano safra 2018-2019	Dados do ano safra de 2020-2021
Agrícola	Desperdício do produto	Qual a quantidade de café desperdiçado no processo de comercialização (colheita, transporte, manuseio, venda), em percentual (%)?		
	Investimento em Tecnologia	Qual a renda anual gasta em investimento em tecnologia, em percentual (%)?		
	Capacitação	Qual o número de cursos de capacitação feitos pelos produtores, por ano, em unidades?		
	Área total da propriedade	Qual o tamanho total da propriedade, em hectares?		
	Área disponível para cultivo	Qual a área total de terra disponível para cultivo, em hectares?		
	Volume de café produzido	Qual o volume de café produzido no ano, em sacas		
	Crédito e Seguro Rural	Qual o valor financiado no ano por bancos públicos e privados, cooperativas de crédito, em reais?		
	Áreas degradadas	Qual o percentual de áreas degradadas utilizadas para plantio, (%)?		
	Áreas preservadas	Qual o percentual de áreas preservadas (mata virgem) na propriedade, (%)?		

Quadro A – Questionário (Conclusão)

Categoria	Indicador	Definição	Região produtora	
			Dados do ano safra 2018-2019	Dados do ano safra de 2020-2021
Agrícola	Consumo de água	Qual o volume de água consumido na propriedade, litros por mês?		
	Tratamento de água	Qual o volume de água tratada na propriedade, litros por mês?		
	Utilização de combustíveis fósseis	Qual o valor gasto no ano com combustíveis (gasolina, diesel), em reais?		
Certificação	Número de certificações	Qual o número de certificações obtidas pela propriedade no ano, em unidades?		
Economia Circular	Reaproveitamento de água	Qual o volume de água reaproveitada na propriedade, litros por ano?		
	Geração de energia	Qual o percentual de energia produzida na própria propriedade no ano (%)?		
	Área irrigada na propriedade	Qual o percentual da área irrigada na propriedade (%)?		
	Tratamento de resíduos sólidos	Qual a quantidade de resíduo sólido tratado, kg/ano?		
	Produção de adubo orgânico	Qual a quantidade de adubo orgânico produzido, kg/ano?		
	Investimentos em energia renovável na propriedade	Qual o valor investido em energia renovável no ano, em reais?		
	Consumo de energia	Qual o valor do gasto com energia elétrica no ano, em reais?		
	Proporção de adubo orgânico e adubo químico	Qual a proporção de adubo orgânico e adubo químico utilizados em sacas (Ex.: 1 saco de adubo químico a cada 2 de orgânico)?		