

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS CONTÁBEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS CONTÁBEIS**

IZAEL OLIVEIRA SANTOS

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE ARROZ
NO BRASIL: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados**

**UBERLÂNDIA
2017**

IZAEL OLIVEIRA SANTOS

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE ARROZ
NO BRASIL: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Contábeis da Faculdade de Ciências Contábeis, Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Contábeis.

Área de concentração: Controladoria

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Tavares

**UBERLÂNDIA
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S237a Santos, Izael Oliveira, 1990-
2017 Avaliação da eficiência na produção de arroz no Brasil : uma aplicação da análise envoltória de dados / Izael Oliveira Santos. - 2017. 111 f. : il.

Orientador: Marcelo Tavares.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.34>
Inclui bibliografia.

1. Contabilidade - Teses. 2. Arroz - cultura - Teses. 3. Agroindústria - Teses. 4. Economia agrícola - Teses. I. Tavares, Marcelo. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis. III. Título.

CDU: 657

IZAEL OLIVEIRA SANTOS

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE ARROZ
NO BRASIL: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados**

Dissertação aprovada para a obtenção do título de Mestre em Ciências Contábeis no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Contábeis da Faculdade de Ciências Contábeis da Universidade Federal de Uberlândia.

APROVADA EM: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo Tavares
Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Prof. Dr. Janser Moura Pereira
Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Prof. Dr. Wagner de Paulo Santiago
Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES

Uberlândia/MG, 13 de dezembro de 2017.

*As minhas mães, Valmira e Terezinha, ao meu irmão, Antoniel, ao meu afilhado, Raphael,
e àqueles que são especiais em minha vida, fontes de apoio, segurança, força e
inspiração que me fazem seguir adiante e querer ser melhor a cada dia.*

AGRADECIMENTOS

Ao fim desta jornada acho que posso respirar fundo e dizer que consegui, que dei o meu melhor e que aproveitei o quanto pude, ainda que isso não pareça ou seja o suficiente. Mesmo assim, tudo só foi possível, primeiramente pela graça e bondade de um Ser Maior que ilumina e guia meus caminhos, e também pelo apoio permanente, força e incentivos de minha família, amigos, professores, colegas de turma e colegas de trabalho.

Por isso, agradeço de coração a todos que compartilharam essa caminhada de aperfeiçoamento e desenvolvimento pessoal e intelectual. Não foi uma jornada fácil, afinal a distância, a quantidade de atividades, a auto cobrança por desempenho e outras variáveis além de me tirar da zona de conforto, me fez viver em um estado de constante desafio e superação.

Muito mais que um período em que estudei teorias, desenvolvi habilidades e competências para a pesquisa e para o exercício da docência no ensino superior, também foi momento de conhecer pessoas, de fazer amigos e de “experenciar” a vida. Acreditem, conheci pessoas incríveis, sem as quais a jornada não teria sido tão proveitosa.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador o Prof. Dr. Marcelo Tavares, por compreender minhas limitações, incentivar o desenvolvimento das minhas potencialidades e sobretudo pelo apoio, auxílio em todas as etapas do desenvolvimento desta pesquisa e por confiar no meu trabalho e compromisso com a pesquisa. Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis da FACIC/UFU, pela experiência transmitida e por doarem um pouco de si para minha formação. Aos colegas, pelas discussões e experiências de vida que só agregaram a minha história, e também pelos momentos de descontração, pelos sorrisos gratuitos e pelo ombro amigo nos momentos de tensão e desespero.

Agradeço enormemente a todos da Gerência de Custos de Produção da CONAB, especialmente a Adriene Melo, Lucas Rocha e a Sefóra Silvério pelo atendimento cordial, disponibilização dos dados necessários ao desenvolvimento deste trabalho e esclarecimento de dúvidas, muito obrigado!

Agradeço ao Prof. Dr. Janser Pereira por suas contribuições já na disciplina de Seminários da Dissertação e na qualificação, e ao Prof. Dr. Wagner Santiago pela leitura atenciosa e sugestões de melhoria na qualificação. Certamente a participação de vocês elevaram a qualidade deste trabalho!

Não posso nomear a todos, porque poderia ser descortês e me esquecer de mencionar alguém. Destaco, por fim, meu muito abrigado aos amigos do Departamento de Ciências Contábeis da Universidade Estadual de Montes Claros, por compreenderem minhas ausências, e por me ajudarem a organizar meus horários malucos de de aula na universidade e no mestrado.

Espero poder contribuir com a nossa sociedade, na mesma medida em que todos vocês contribuíram para com a minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

*"Medir variáveis imprecisas com ferramentas altamente precisas
não é melhor do que utilizar ferramentas rudimentares".*

Benjamin Graham

RESUMO

A orizicultura é uma importante atividade, tanto do ponto de vista econômico e social como sob o enfoque do abastecimento e segurança alimentar. Apoiada nas teorias da produção, custos de produção e da firma esta pesquisa teve como objetivo investigar a eficiência das principais regiões produtoras de arroz no Brasil, sob a perspectiva dos custos de produção, para as safras 2011/12 a 2016/17. Trata-se de pesquisa quantitativa, descritiva e aplicada, que utiliza dados secundários disponibilizados pela CONAB. A amostra é formada pelas regiões de Balsas, Sorriso, Cachoeira do Sul, Pelotas e Uruguaiana, que representam os sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado) e de plantio (convencional, cultivo mínimo e direto/semidireto) predominantes no Brasil. Adotou-se a DEA, abordagem não paramétrica, modelos BCC e CCR orientados à entrada. Foi utilizada a estimativa de correlação de Pearson e referências de estudos anteriores, para selecionar as variáveis de custos para compor o modelo analítico, sendo definidos seis *inputs* (operações com máquinas, mão-de-obra, sementes, fertilizantes, agrotóxicos e assistência técnica) e um *output* (produtividade de arroz). Foram desenvolvidas duas estruturas de análise: avaliação geral – realizada com base em todas as 30 DMUs observadas pela pesquisa; e a avaliação por categoria, na qual as DMUs da pesquisa foram segregadas por sistema de cultivo e por sistema de plantio. As estruturas de custos das regiões produtoras foram avaliadas, observando-se que, à exceção de Sorriso, todas as demais apresentaram variação média negativa em relação às áreas plantadas e colhidas e nível de produção de arroz, movimento também observados para os dados consolidados no Brasil. Dentro da amostra verificou-se três regiões (Cachoeira do Sul, Pelotas e Uruguaiana) com altas produtividades (superiores a 7.000 kg/ha) e duas regiões (Balsas e Sorriso) com produtividade abaixo da média nacional. Pela avaliação dos custos, observou-se que o grupo de custos variáveis relacionados ao custeio com a lavoura foi o que apresentou maior participação nos custos totais das regiões produtoras no período avaliado, cerca de 62%. Considerando as variáveis de custos selecionadas para compor o modelo de análise DEA, verificou-se a maior expressividades dos custos com operações com máquinas, fertilizantes e agrotóxicos. Pelos resultados da DEA na avaliação geral obteve-se médias das medidas de eficiência técnica, de escala, alocativa e de custos de 0,978, 0,932, 0,782 e 0,764, respectivamente. Observou-se que predomina entre as DMUs o retorno constante de escala e as DMUs ineficientes, em regra apresentam tanto problema de escala produtiva como de eficiência. Na avaliação por categorias, considerando os sistema de cultivo, verificou-se pouca alteração nos escores de eficiência técnica das DMUs do sistema sequeiro, e alterações pequenas nas DMUs do sistema irrigado decorrentes da alteração dos *benchmarks*. Contudo, alterações significativas foram percebidas nas médias dos escores das eficiências alocativa e de custos, principalmente com o aumento de DMUs eficientes. Por fim, considerando os sistemas de plantio, obteve-se medidas de eficiências, em geral, mais distintas, provavelmente em função da elevação da especialização do modelo, uma vez que o número de DMUs por grupo de análise mostrou-se pequeno dado o número de variáveis utilizadas.

Palavras-chave: Orizicultura. Custos de produção. Eficiência. DEA. Agronegócio.

ABSTRACT

Rice cultivation is an important activity, both from an economic and social point of view and from a food supply and safety perspective. Based on the theories of production, production costs and the firm, this research had the objective of investigating the efficiency of the main rice producing regions in Brazil from the perspective of production costs for the 2011/12 to 2016/17 harvests. It is a quantitative, descriptive and applied research that uses secondary data made available by CONAB. The sample is formed by the regions of Balsas, Sorriso, Cachoeira do Sul, Pelotas and Uruguaiana, which represent the systems of cultivation (dry farming and irrigated) and planting (conventional, minimum and direct / semi - direct cultivation) predominant in Brazil. We adopted the DEA, non-parametric approach, output-oriented BCC and CCR models. Pearson correlation estimation and references from previous studies were used to select the cost variables to compose the analytical model. Six inputs were defined (operations with machines, labor, seeds, fertilizers, agrochemicals and technical assistance) and an output (rice yield). Two analysis structures were developed: general evaluation - performed based on all 30 DMUs observed by the research; and the evaluation by category, in which the DMUs of the research were segregated by cultivation system and by planting system. The cost structures of the producing regions were evaluated, observing that, except for Sorriso, all the others had a negative average variation in relation to the planted and harvested areas and the level of rice production, movement also observed at the data consolidated in Brazil. Within the sample, three regions (Cachoeira do Sul, Pelotas and Uruguaiana) were found with high productivity (over 7,000 kg / ha) and two regions (Balsas and Sorriso) with productivity below the national average. By the evaluation of the costs, it was observed that the cost of farming was the one that obtained the largest participation in the total costs of the producing regions in the period evaluated, about 62%. Considering the cost variables selected to compose the DEA analysis model, it was verified the greater expressiveness of the costs with operations with machines, fertilizers and agrochemicals. By the DEA results, the averages of the measures of technical efficiencies, scale, allocative and cost, obtained in the general evaluation, were 0.972, 0.932, 0.782 and 0.764, respectively. It was observed that the constant return of the scale predominate among the inefficient DMUs the DMUs, as a rule, present both the problem of the productive scale and the efficiency. In the evaluation by categories, considering the cultivation system, there was little change in the technical efficiency scores of the dryland DMUs, and small changes in the DMUs of the irrigated system, these stemming to the change in the benchmarks. However, significant changes were observed in the averages of the allocative efficiency and cost efficiencies, especially with the increase of efficient DMUs. Finally, considering the planting systems, we obtained measures of generally more distinct efficiencies, probably due to the increased specialization of the model, since the number of DMUs per analysis group was small given the number of variables used.

Key-words: Orizicultura. Production costs. Efficiency. DEA. Agribusiness

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Participação do PIB Agronegócio no PIB Total - Brasil	27
Figura 2. Evolução do PIB Agronegócio e do PIB Total - Brasil	27
Figura 3. Os 10 maiores países produtores de arroz, produção acumulada de 2010 a 2016	28
Figura 4. Produção de arroz, por continente, no período de 2005 a 2014.....	29
Figura 5. Produtividade de arroz, por continente, no período de 2005 a 2014.....	29
Figura 6. Tipos de eficiência	38
Figura 7. Retornos crescentes de escala	40
Figura 8. Retornos decrescentes de escala.....	40
Figura 9. Retornos constantes de escala	40
Figura 10. Fronteiras de produção DEA-BCC e DEA-CCR.....	44
Figura 11. Desenho da pesquisa	50
Figura 12. Diagrama do fluxo de aplicação da DEA.....	52
Figura 13. Relação de produção de uma DMU	58
Figura 14. Estrutura funcional da DEA	61
Figura 15. Produtividade do arroz em Balsas, Sorriso, Cachoeira do Sul, Uruguaiana e Pelotas para as safras 2011/12 a 2016/17.....	65
Figura 16. Participação (%) dos grupos de custos no Custo Total, por sistema de cultivo.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Discriminação dos custos de produção do arroz.....	36
Quadro 2 - Amostra das regiões produtoras de arroz, por sistema, plantio e safras	55
Quadro 3 - Detalhamento das DMUs objeto da pesquisa	55
Quadro 4 - Relação de <i>inputs</i> e o <i>output</i> e os estudos afins.....	59
Quadro 5 - Classificação dos <i>inputs</i> e do <i>output</i>	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Orizicultura no Brasil, por regiões do país – em 1.000 toneladas (2016/17).....	30
Tabela 2 - Distribuição dos estados produtores de arroz por classe de produtividade.....	31
Tabela 3 - Coeficiente de correlação entre os <i>inputs</i> e o <i>output</i>	61
Tabela 4 - Área plantada, área colhida e produção de arroz por região produtora.....	64
Tabela 5 - Custos de produção*, por hectare, nas safras 2011/12 a 2016/17.....	67
Tabela 6 - Estatística descritiva das variáveis de custos por região	69
Tabela 7 - Estatística descritiva da variável produtividade por região.....	70
Tabela 8 - Estatística descritiva do consumo de insumos – safras 2011/12 a 2016/17	71
Tabela 9 - Distribuição de frequência dos escores de super-eficiência: CCR- <i>inputs</i> /geral.....	72
Tabela 10 - Eficiência técnica, eficiência e retorno de escala, avaliação geral.....	73
Tabela 11 - Resultados da análise de eficiência técnica, modelo BCC- <i>inputs</i> /geral.....	76
Tabela 12 - Custos atuais e custos alvos das DMUs ineficientes, BCC - <i>inputs</i> /geral.....	78
Tabela 13 - Eficiência cruzada, modelo BCC - <i>inputs</i> /geral	79
Tabela 14 - Resultado das medidas de eficiências alocativa e de custos, modelo BCC- <i>inputs</i> /geral	81
Tabela 15 - Distribuição de frequência dos escores da super-eficiência: CCR/ <i>inputs</i> /SC.....	82
Tabela 16 - Eficiência técnica, eficiência e retornos de escala e <i>ranking</i> das DMUs	83
Tabela 17 - Resultados da análise de eficiência técnica, modelo BCC- <i>input</i> /SC	84
Tabela 18 - Custos atuais e custos alvos das DMUs ineficientes, BCC- <i>inputs</i> /SC.....	85
Tabela 19 - Eficiências alocativa e de custos, modelo BCC- <i>inputs</i> /SC	86
Tabela 20 - Distribuição de frequência escores de super-eficiência: CCR/ <i>inputs</i> /SP.....	87
Tabela 21 - Eficiência técnica, eficiência e retornos de escala e <i>ranking</i> /SP.....	87
Tabela 22 - Resultados da análise de eficiência técnica, modelo BCC- <i>inputs</i> /SP	88
Tabela 23 - Eficiências alocativa e de custos, modelo BCC- <i>inputs</i> /SP.....	89

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BCC	<i>Banker, Charnes e Cooper</i>
CCR	<i>Charner, Cooper e Rhodes</i>
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CRS	<i>Constant Return Scale</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i> (Análise Envoltória de Dados)
DMU	<i>Decision Making Unit</i> (Unidade Tomadora de Decisão)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EA	Eficiência Alocativa
EC	Eficiência de Custos
EE	Eficiência de Escala
ET	Eficiência Técnica
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GEC	Gestão Estratégica de Custos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGP-DI	Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PIB	Produto Interno Bruto
RCE	Retorno Constante de Escala
RNCE	Retorno não-Constante de Escala
RVE	Retorno Variável de Escala
VRS	<i>Variable Return Scale</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização e relevância do tema	13
1.2 Delineamento do Problema	17
1.3 Objetivos.....	18
1.4 Justificativa e contribuição da pesquisa	18
1.6 Estrutura do trabalho	20
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 A teoria da produção e a teoria dos custos de produção à luz da teoria da firma	21
2.2 O agronegócio e a orizicultura: definições, características e panorama	25
2.3 A contabilidade e os custos de produção no agronegócio	32
2.4 Conceitos e medidas de eficiência	37
2.5 Análise envoltória de dados	41
2.6 Estudos relacionados a aplicação da DEA na orizicultura	46
3 ASPECTOS METODOLÓGICOS	50
3.1 Classificação tipológica da pesquisa	50
3.2 Modelagem da análise de eficiência na DEA	52
3.2.1 Definição da população e seleção da amostra de DMUs.....	53
3.2.2 Identificação, exame e seleção das variáveis (insumos/produtos) e definição da relação de produção.....	56
3.2.3 Estruturação do modelo de aplicação da DEA	61
3.2.4 Apoio computacional: software especializado	63
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
4.1 A produção e os custos da orizicultura nas regiões selecionadas	64
4.2 Análise descritiva das variáveis de entrada e saída da função de produção.....	69
4.3 Avaliação geral.....	71
4.3.1 Análise das medidas de super-eficiência, eficiência técnica, benchmarks e potenciais de melhoria nos custos de produção (<i>inputs</i>)	71
4.3.2 Resultados (<i>benchmarks</i> , referência, importância, <i>slacks</i> e metas) da eficiência técnica e ranking das maiores eficiências	75
4.3.3 Resultado das medidas de eficiências alocativa e de custos.....	80
4.4 Avaliação por categorias	82
4.4.1 Eficiência técnica, alocativa e de custos, <i>benchmarks</i> , <i>slacks</i> e potenciais de melhoria nos custos de produção por sistema de cultivo.....	82
4.4.2 Eficiência técnica, alocativa e de custos, <i>benchmarks</i> , <i>slacks</i> e potenciais de melhoria nos custos de produção por sistema de plantio.....	86
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
REFERÊNCIAS	93

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e relevância do tema

O agronegócio é uma importante fonte de geração de riqueza para o Brasil, sendo um dos setores de maior crescimento na economia (GASQUES *et al.*, 2004; HOFER *et al.*, 2006; IBGE, 2016; RODRIGUES, 2017). O termo agronegócio engloba tanto a agricultura quanto a pecuária, e ainda diversos agentes que se interligam e formam uma cadeia de valores (DAVIS; GOLBERG, 1957; MORAES; BEHR; FARIAS, 2016). Ele pode ser caracterizado pela produção baseada na monocultura, e pelos seguintes aspectos: produtos cujos valores são definidos pelo mercado internacional; uso intensivo de insumos e tecnologias agrícolas; padronização e uniformização da produção; e presença de grandes empresas agroindustriais (ARAÚJO, 2007; SANTILLI, 2009; CEPEA, 2014; REZENDE; LEAL; MACHADO, 2015; SOARES; JACOMETTI, 2015).

No Brasil, nas últimas décadas, o agronegócio tem respondido por mais de um quinto do Produto Interno Bruto (PIB), por metade do saldo da balança comercial e pela geração de parcela significativa de empregos (BARBOSA; SOUSA, 2014; CONAB, 2015a; IBGE, 2016; CEPEA, 2016; RODRIGUES, 2017). Tais dados revelam a importância econômica do setor para a economia brasileira, que para Gasques *et al.* (2004) vai além da geração de emprego e renda, pois seu desempenho atenua o *déficit* comercial decorrente de outras atividades produtivas e contribui para a estabilidade macroeconômica (OCDE-FAO, 2015).

Em 2015, ano em que chegou ao ápice os efeitos da crise econômico-política no país, o setor ainda apresentou crescimento em função da evolução tecnológica e produtiva e da manutenção ou elevação da demanda por alimentos do mercado interno e externo (CAIXETA; WANDER, 2015; VIEIRA FILHO *et al.*, 2016). Em 2016, o PIB do agronegócio brasileiro obteve crescimento de 4,48%, o ramo agrícola cresceu 5,77% no ano, enquanto a pecuária cresceu 1,72% (CEPEA, 2016).

A cadeia de valor das atividades do agronegócio envolve produção, fabricação, distribuição e comercialização de produtos agrícolas e a literatura tem associado os bons resultados deste setor no Brasil à capacidade de seus agentes utilizarem e otimizarem conhecimentos disponíveis para aumentar a produtividade (GASQUES *et al.*, 2012; LOPES; CONTINI, 2012; ALVES; SOUZA; GOMES, 2013; FORNAZIER; VIEIRA FILHO, 2013).

Neste sentido, Mota *et al.* (2013) dizem que o setor agrícola brasileiro moderno tem como base as práticas internacionais, mecanização do campo e foco na alta produtividade. Segundo estes autores o processo de modernização no país iniciou-se na década de 1990. Vieira Filho *et al.* (2016) afirmam que, na produção agrícola, o crescimento da produtividade é provocado pela pesquisa aplicada, utilização de melhores fertilizantes, gestão e controle de pragas e inovações de processo.

Carvalho, Lima e Thomé (2015) defendem que as transformações ocorridas no agronegócio brasileiro, nas últimas décadas repercutiram na evolução da competitividade da atividade, bem como passaram a requerer mais dinamismo no processo de gestão.

Diversas pesquisas da área de contabilidade têm se dedicado ao estudo de questões relacionadas à gestão, desempenho e custos do agronegócio (GALVEZ-NOGALES, 2010; SOUZA *et al.*, 2012). Existem pesquisas relacionadas ao agronegócio que têm como objetivo avaliar a eficiência produtiva e os custos de produção do setor, principalmente tendo como objeto as atividades de maior expressividade no Brasil, como as culturas de soja, milho, cana-de-açúcar, e a pecuária de corte, a produção de leite entre outros (SOUZA; RASIA, 2011; RASIA *et al.*, 2011; SOUZA *et al.*, 2012; REZENDE; LEAL; MACHADO, 2015).

Dentro do agronegócio brasileiro, as culturas de cereais se destacam, sendo as principais, em termos de quantidade produzida: o milho, o arroz e o trigo, respectivamente nessa ordem (FAO, 2016). Na perspectiva mundial, o Brasil está entre os dez maiores produtores nestas três culturas, apresentando no cultivo do milho a terceira maior produção; no cultivo do arroz a nona maior produção; e no cultivo do trigo a décima maior produção (FAO, 2016; MAPA, 2016).

A cultura do arroz, também conhecida como orizicultura, é uma importante atividade, tanto do ponto de vista econômico, como pelo seu aspecto social (BRONDANI *et al.*, 2006; BRUM, 2013; WATTO; MUGERA, 2014) e de abastecimento e segurança alimentar (CONAB, 2015). Marion Filho e Einloft (2008) afirmam que o arroz é produzido e consumido em todo o mundo, principalmente em países subdesenvolvidos devido ao seu valor nutritivo e custos baixos, sendo que no Brasil, junto com o feijão, forma o principal alimento da população. Segundo a CONAB (2016), para a safra 2015/16 era esperado um consumo de mais de 144 milhões de toneladas dos dois produtos juntos, superior ao consumo do próprio trigo. Assim o arroz pode ser considerado um dos cereais de maior importância para a alimentação humana, o consumo no Brasil está em média de 25kg por pessoa ao ano (CONAB, 2015).

Em relação à produção de arroz, em contexto mundial, a China e a Índia são, respectivamente, o primeiro e segundo maiores produtores, sendo também grandes consumidores do produto. Na América do Sul, a produção do cereal concentra-se no Brasil, Uruguai e Argentina, respondendo o primeiro por cerca de 77,9% da produção do Mercosul (safra 2015/16). Apenas o mercado brasileiro experimentou crescimento de mais de 24% entre as safras 1990/1991 e 2014/2015, estando tal crescimento relacionado ao ganho de produtividade do setor (SOSBAI, 2010; CONAB, 2016a).

A orizicultura está presente em todas as regiões do território brasileiro. Contudo, a Região Sul se destaca na produção do cereal, o Estado do Rio Grande do Sul responde individualmente por cerca de 68% da produção de todo o país. Este mesmo estado obteve um crescimento de mais de 111% de sua produção nas últimas duas décadas. Outros estados que se destacam na orizicultura são: Santa Catarina, Maranhão, Tocantins, Mato Grosso, Pará e Goiás (CONAB, 2016a).

No Brasil, são dois os sistemas de produção de arroz: o sequeiro que se refere ao cultivo em terras altas e o irrigado que se refere ao cultivo em várzeas. As principais culturas do arroz irrigado e sequeiro, consideradas pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para o levantamento de custos de produção, situam-se no Rio Grande do Sul (Uruguaiana, Pelotas, Santo Antônio da Patrulha e Cachoeira do Sul), Mato Grosso (Sorriso) e no Maranhão (Balsas) (CONAB, 2016a). Em ambos os sistemas de produção podem ser adotados os sistemas de plantio convencional, direto e cultivo mínimo (MAINARDI, 2015).

Independentemente do Estado, o sistema de cultivo ou plantio utilizados na produção de arroz, e os custos de produção apresentam-se como fatores determinantes para a competitividade dos produtores, e por isso a atividade exige a adoção de estratégias voltadas para a redução de custos e aumento da produtividade que envolvam, essencialmente, uso de novas tecnologias e formas de gestão (NICOLELI; MOLLER, 2006; OLIVEIRA; NACHILUK, 2011).

As teorias da produção, do custo de produção e da firma oferecem discussões conceituais necessárias para conceber a firma como uma unidade produtora, e avaliar a combinação dos fatores de produção na perspectiva de minimização dos insumos ou maximização dos produtos por meio de uma função de produção (DOLL; ORAZEM, 1984; HALL; LIEBERMAN, 2003; PINDYCK; RUBINFELD, 2010; SANTOS; CALÍOPE; COELHO, 2015).

Nessa perspectiva, dois conceitos são relevantes, a gestão de custos no agronegócio e a eficiência. A gestão de custos, atualmente, relaciona-se à estratégia organizacional e à

capacidade de geração de vantagem competitiva e está baseada em três pilares: posicionamento estratégico, cadeia de valor e determinantes de custos (HANSEN; MOWEN, 2003). Segundo Raineri Rojas e Gameiro (2015, p. 201) “a inserção da análise de custos no contexto do agronegócio é imprescindível para a expansão da sua competitividade tanto no mercado interno como no externo”.

O conceito de eficiência consiste em uma análise comparativa entre o que é produzido e o que poderia ser (produzido) utilizando-se uma mesma quantidade de insumos, ou seja, trata-se da capacidade de produção máxima (*outputs*) dado um conjunto de elementos consumidos no processo produtivo (*inputs*) e sistemas de gestão disponíveis (BRAVO-URETA; PINHEIRO, 1993; DAO, 2013; HELFAND; LEVINE, 2004).

Neste estudo, adota-se a abordagem não paramétrica para obtenção das medidas de eficiência por meio da técnica Análise Envoltória de Dados, cujas vantagens são: não requer uma especificação primária da forma funcional da função de produção e da suposição distributiva do termo de ineficiência; pode lidar com múltiplas saídas e entradas com cada uma em diferentes unidades de medida; gera um conjunto de *benchmarks* com os quais uma unidade é comparada (COELLI *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2014). A DEA tem sido uma técnica bastante utilizada (DHUNGANA; NUTHALL; NARTEA, 2004; GOMES; MANGABEIRA; MELLO, 2005; BRUNOZI JÚNIOR *et al.*, 2012; JANOVA; VAVRIN; HAMPEL, 2012; PEREIRA, 2014; MALETIC; PAUNOVIC; POPOVIC, 2015; DJOKOTO; GIDIGLO, 2016; BARBOSA; 2016). Uma das justificativas para o uso deste modelo no agronegócio é sua capacidade de informar as fontes de ineficiências e os meios para que o agricultor busque a fronteira de eficiência (GOMES; MANGABEIRA; MELLO, 2005).

Existem estudos, nacionais e internacionais, que se dedicaram ao estudo da cultura do arroz sob diferentes enfoques: Pfitscher (2004) buscou analisar a gestão ambiental, dando ênfase à contabilidade e à controladoria, a fim de dar suporte a estratégia na cadeia produtiva de arroz ecológico; Brondani *et al.* (2006) buscaram demonstrar os principais diferenciais no que se refere aos custos de plantio dos sistemas de cultivos de arroz, com destaque ao sistema de plantio convencional, ao sistema de plantio direto e ao sistema de plantio pré-germinado; Marion Filho e Einloft (2008) avaliaram a competitividade do arroz irrigado produzido no Brasil, Uruguai e Argentina; Souza *et al.* (2015) buscaram analisar o potencial econômico para mercados futuros de arroz do Mercosul.

Também existem múltiplos estudos relacionados à aplicação do modelo DEA na orizicultura. Eles são mais numerosos nos países asiáticos (FAN, 2000; COELLI; RAHMAN; THIRTLE, 2002; DHUNGANA; NUTHALL; NARTEA, 2004; DEVI; PONNARASI, 2009;

WATKINS *et al.*, 2013; NARGIS; LEE, 2013; TUN; KANG, 2015; TU; TRANG, 2016), continente que responde pela maior parcela da produção mundial de arroz. Mais próximo ao Brasil, García Suárez (2016) aplicou a metodologia para analisar a produção de arroz no Uruguai, entender que práticas conduzem à fronteira de eficiência e para identificar as fontes de ineficiência. E, dentro do Brasil, são encontradas pesquisas (CARVALHO, 2012; ALVIM; STULP; KAYSER, 2015), com aplicação da metodologia DEA na orizicultura, principalmente tendo como objeto a produção de arroz no sul do país.

Desta forma, foram encontradas abordagens que envolvem a análise de questões relacionadas aos custos, ao potencial econômico e à eficiência da cultura do arroz. Contudo, nenhum estudo nacional teve como foco a avaliação comparativa de eficiência da produção do arroz em relação aos custos incorridos para as principais regiões produtoras do Brasil, para as safras entre 2011/2012 e 2016/2017. Desta forma, esta pesquisa se dedicará a suprir tal lacuna, nos moldes do delineamento apresentado nos tópicos que seguem.

1.2 Delineamento do Problema

Conforme Soares e Jacometti (2015), a expressiva expansão da agricultura no Brasil torna a atividade fundamental para o desenvolvimento do país. Isto posto, todas as culturas desenvolvidas no Brasil têm relevante importância, seja pela participação no PIB de mais de um quinto ou pela capacidade de gerar emprego e renda para a população. A orizicultura destaca-se pela sua participação no PIB gerado pelo agronegócio, e pela sua importância no abastecimento e na segurança alimentar do povo brasileiro (CONAB, 2016).

A agricultura é uma atividade bastante vulnerável aos aspectos relacionados ao clima, à economia e à política (SOARES; JACOMETTI, 2015). A produtividade das regiões produtoras pode ser limitada por fatores como: estrutura tecnológica e custos de mão de obra (CONAB, 2015). A competitividade de uma firma está associada à existência de uma estrutura produtiva que alcance o nível ótimo de eficiência, ou seja, adote mecanismos para alavancar a produtividade total, mantendo-se os mesmos níveis de consumo dos fatores terra, capital e trabalho.

Neste sentido, é preciso considerar que a função custo de produção agrícola é impactada pelo desenvolvimento tecnológico das máquinas e implementos, relações trabalhistas, intensidade e resultados de pesquisas, uso de recursos como sementes, fertilizantes e agrotóxicos (CONAB, 2010). E para a OCDE-FAO (2015), dentre os fatores

que explicam o crescimento da produtividade no Brasil estão investimentos duradouros em pesquisa que viabilizaram o acesso a melhores tecnologias para agricultura tropical.

Segundo Raineri, Rojas e Gameiro (2015), a modernização da agricultura no Brasil, ocorrida no Século XX, introduziu o conceito de eficiência produtiva, ou seja, a necessidade de maximizar o uso dos fatores de produção, sendo relevante a análise econômica da atividade. Portanto, considerando a importância da orizicultura, do gerenciamento de custos e da necessidade de se conhecer os fatores determinantes da eficiência na produção desta cultura, tem-se a seguinte questão de pesquisa: qual a eficiência das principais regiões produtoras de arroz do Brasil, em relação aos custos da produção verificados pela CONAB?

1.3 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é investigar a eficiência das principais regiões produtoras de arroz no Brasil, situadas nos Estados do Maranhão, Mato Grosso e Rio Grande do Sul, em relação aos custos de produção do arroz nas safras 2011/2012 a 2016/2017.

Os objetivos específicos são:

- a) Levantar e apresentar os custos da produção do arroz por região produtora;
- b) Determinar o desempenho de cada região produtora de arroz a partir do cálculo de medidas de eficiência;
- c) Identificar as fontes e quantidades de ineficiência relativa de cada uma das unidades comparadas;
- d) Estabelecer um *ranking* de eficiência das DMUs avaliadas.

1.4 Justificativa e contribuição da pesquisa

Segundo Ogundari, Amos e Okoruwa (2012), a mensuração e a análise da eficiência na agricultura em regra estão associadas à capacidade de uma firma (fazenda, país, etc.) atingir um nível máximo de produção dado um conjunto de fatores ou ao nível máximo de produção com o menor custo. Desta forma, fazendo menção ao que existe na literatura, os autores entendem que a eficiência tem papel crucial no aumento e fomento da produção agrícola.

O estudo dos custos de produção, a partir da análise da eficiência de um conjunto de firmas, pode gerar contributos para decisões e políticas públicas bem informadas que proporcionem oportunidades de se atingir maior produção. A CONAB (2010) defende que os

custos de produção são úteis para análises relacionadas ao sistema de cultivo, tecnologia e produtividade de culturas e contribui para a melhoria da gestão da unidade produtiva, bem como para o fomento de políticas públicas e programas governamentais. Pois, além dos custos de produção refletirem o processo decisório do produtor, a eficiência econômica e a gestão do empreendimento, também são indicadores relevantes do sucesso da atividade rural, pois quanto menor o custo de produção, maior será a rentabilidade do produtor.

Silva, Guse e Leite (2015) defendem que cabe aos pesquisadores da área de controladoria e contabilidade gerencial estudar o que pode afetar a eficiência, a qualidade e a competitividade da estrutura de custos e despesas de cada setor. Em razão da importância econômica e social do arroz, no Brasil, um dos maiores produtores e consumidores do produto no mundo com demanda estimada em 11,7 milhões de toneladas (CONAB, 2016), a análise da eficiência dos custos dos fatores envolvidos no seu processo produtivo pode auxiliar na implementação de melhorias e ganho de vantagens competitivas para as principais regiões produtoras do país (FAO, 2016; KENNEDY *et al.*, 1997).

A utilidade da linha investigativa da eficiência está não apenas no fato de se identificarem as firmas eficientes e os níveis de eficiência do setor ou segmento analisado, mas também na identificação das variáveis determinantes para o alcance da eficiência. Esta talvez seja a principal contribuição deste trabalho, pois ainda que existam pesquisas que se detiveram na análise de diversas regiões produtoras do arroz do Brasil (PEREIRA; MENDES, 2002; CARVALHO, 2012; ALVIN; STULP; KAYSER, 2015) nenhuma delas avaliou a eficiência na perspectiva dos custos de produção.

Assim, este estudo tem como objeto a cultura de arroz, e parte de uma construção teórico-conceitual lastreada nas teorias da produção, dos custos de produção e da firma, para enfatizar a importância da gestão de custos e do arranjo adequado dos fatores de produção no processo decisório. Ou seja, considerando que o preço do arroz, como de todas as *commodities*, é definido pelo próprio mercado, o produtor deve tratar com cuidado os custos do processo produtivo, se quiser maximizar seu retorno.

Outra contribuição deste trabalho relaciona-se à questão ambiental, na perspectiva de uma produção sustentável de forma que as regiões produtoras possam ser eficientes sem a necessidade de utilização de novas áreas ou até mesmo com a diminuição de agrotóxicos (KAMIYAMA, 2011).

Na perspectiva acadêmica, a pesquisa contribuirá para o desenvolvimento e a atualização dos estudos existentes aplicados ao agronegócio (RASIA *et al.*, 2011), na estruturação científica do tema, bem como é um instrumento exploratório na identificação das

variáveis de custos representativas na orizicultura, que poderá auxiliar no levantamento e descrição de problemas e de hipóteses de pesquisas, e conseqüentemente no amadurecimento do conhecimento científico.

Por fim, espera-se que o resultado da pesquisa sirva de visão geral para pesquisadores e formuladores de políticas com interesse na eficiência das regiões produtoras de arroz no Brasil, que auxilie os gestores na superação das barreiras para o aumento da produtividade da orizicultura no país, e impulse condições de competitividade para as regiões produtoras. E também sirva de *feedback* ou indicador para o aperfeiçoamento ou transformação das políticas públicas relacionadas ao segmento.

1.6 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco seções: a primeira é essa introdução, cujo propósito foi apresentar a contextualização do tema, o problema e sua delimitação, os objetivos perseguidos, a justificativa e as contribuições esperadas da pesquisa. A segunda seção é uma revisão objetiva da literatura existente na qual são apresentados o suporte teórico, o agronegócio e a orizicultura, a importância da gestão custos, os conceitos de eficiência e da análise envoltória de dados e a relação de estudos afins.

Na terceira seção estão estruturados os aspectos metodológicos utilizados no tratamento científico do objeto de estudo, neste sentido, são evidenciadas a tipologia da pesquisa, caracterização da amostra, unidades de análise e variáveis selecionadas.

Na quarta seção são apresentadas a análise e discussão dos resultados obtidos na parte empírica da pesquisa, nela faz-se a caracterização dos custos para as regiões produtoras de arroz no Brasil, a análise descritiva das variáveis estudadas e apresentam-se as medidas de eficiência, os determinantes de ineficiência das regiões produtoras fora da fronteira e a análise por categorias (sistema de cultivo e sistema de plantio).

Por fim, a última seção traz as considerações finais, os principais achados e o alcance dos objetivos da pesquisa, bem como as limitações do trabalho e as sugestões de estudos adicionais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção, são apresentados e discutidos temas relacionados ao problema de pesquisa, de forma a estabelecer o embasamento teórico-conceitual e empírico da pesquisa. A seção está estruturada em três tópicos, que abordam as teorias da produção, do custo de produção e da firma, a contextualização da orizicultura no panorama do agronegócio brasileiro, a contabilidade e a gestão de custos no agronegócio e as medidas de eficiência.

2.1 A teoria da produção e a teoria dos custos de produção à luz da teoria da firma

A “firma” é uma organização de produção, sendo que por meio dela é realizada a maior parte das atividades econômicas. Em razão da sua importância dentro do contexto social e do próprio sistema capitalista, a firma tem espaço de destaque na teoria econômica. Assim a “teoria da firma” é usada para apoiar as investigações teóricas acerca da forma como são definidos os preços e a alocação de recursos entre diferentes usos, dessa forma ocupa-se da questão da produção na literatura econômica (KERSTENETZKY, 1995; PENROSE, 2006).

À luz da teoria neoclássica, a firma era compreendida como agente maximizador de lucro (NORTH, 1990, 1991; WILLIAMSON, 1996), relacionada ao mercado, à produção, ao sistema de preços e à distribuição de bens. Tal perspectiva se mostrou incapaz de lidar com realidades complexas, p. ex.: imperfeições do mercado, deixando várias lacunas explicativas na teoria (MCNULTY, 1984; SILVA FILHO, 2006). A firma¹ não era o elemento central da teoria neoclássica, na verdade era percebida como um participante do mercado sujeita às suas forças (ARROW, 1994). Nesse sentido, era concebida como um conjunto de produção, retratada como entidade individual, cuja função consistia em transformar recursos em produtos (MARSHALL, 1895).

As transformações sociais e do sistema de produção, e as frequentes críticas contra o irrealismo, as fragilidades e a ausência de soluções para questões mais relevantes dentro da teoria neoclássica da firma (JENSEN; MECKLING, 1976; WILLIAMSON, 1981),

¹ Feijó e Valente (2004) esclarecem que, na concepção neoclássica da teoria da firma, eram irrelevantes aspectos como: decisões de investimento e de produção, organização interna, hierarquia e mecanismos de controle. A firma era uma reunião dos fatores de produção combinada com a tecnologia disponível.

compuseram o cenário necessário ao surgimento de novas perspectivas e ideias, no sentido de debater e desenvolver a teoria econômica da firma².

A Nova Economia Institucional surgiu com a proposta de apresentar uma nova concepção sobre a firma, de forma a suprir as deficiências da teoria neoclássica. Essa corrente da Escola Institucionalista enfatizou a importância da cooperação e do contexto institucional e normativo em que se insere a firma (SILVA FILHO, 2006). O pioneiro da corrente institucionalista foi Ronald Coase (1937) que no livro *The Nature of the Firm* questionou: o que é uma firma e por que razão ela existe? Ele próprio afirma que, enquanto uma estrutura produtiva, a firma surge para minimizar os custos de obtenção de produtos ou serviços diretamente no mercado, ou seja, o autor introduz o conceito de custo de transação, ao trabalhar as decisões administrativas.

Alguns autores (JENSEN; MECKLING, 1976; WILLIAMSON, 2000) defendem que as contribuições teóricas de Coase (1937), à teoria da firma, partem de uma visão contratualista, para a qual a firma é concebida e analisada como um conjunto de contratos entre agentes. As contribuições dadas à teoria da firma pelos institucionalistas buscaram aproximar os elementos relacionados ao comportamento da firma àqueles percebidos na realidade fática, inclusive introduzindo outros objetivos para a firma, que não apenas a maximização do lucro.

Neste sentido, Sztajn (2004, p. 72) entende que é em busca da superação de dificuldades e da redução de custos na produção de bens e serviços que os agentes econômicos optam por criar a firma, sendo esta uma “estrutura hierárquica em que se procura harmonizar esses diversos interesses, ao mesmo tempo em que se diminuem custos de transação”. Penrose (2006) trouxe para a análise econômica a compreensão daquilo que acontece dentro da firma, centrando-a nas suas próprias capacidades. Para a autora, a firma é ao mesmo tempo uma organização administrativa e um conjunto de recursos produtivos³.

A sustentação da teoria econômica da firma, neste trabalho, é usada para apresentar o objetivo essencial da empresa, bem como os fatores que devem ser observados na sua organização e funcionamento. Nesse sentido, a contribuição teórica de Nelson e Winter (1982) é um marco para a visão evolucionária da teoria da firma, pois analisa a firma em um

² Segundo Tigre (2005), o verdadeiro desenvolvimento da teoria da firma só acontece a partir de 1920, quando se passou a questionar o realismo e a coerência da visão neoclássica.

³ No livro *The theory of the growth of the firm*, publicado em 1959, Penrose esclarece que os recursos não são apenas os fatores de produção, são os serviços desses fatores para a firma, sendo os aspectos produtivos desses serviços definidos pelo contexto organizacional específico de cada firma.

contexto de mudança de ambiente (alteração no mercado, crescimento econômico e introdução de inovações).

Para Nelson e Winter (1982), as firmas e as rotinas que elas desempenham são alvo de seleção: as rotinas só serão alteradas caso exista motivo, e é possível que elas sejam periodicamente revisadas na tentativa de provocar melhoria na organização. Ou seja, esta corrente do pensamento econômico faz uma análise da firma sob o enfoque do processo de gestão.

Considerando as abordagens apresentadas, o desenvolvimento da teoria da firma direciona para a formulação de uma concepção de empresa, cuja realidade é de enfrentamento de desafios específicos, na qual as decisões são tomadas a partir de conhecimentos próprios, sendo sua tarefa combinar de forma eficiente os fatores de produção, gerar e acumular conhecimentos, ao mesmo tempo em que interagem e estabelecem laços com os demais participantes do mercado (FEIJÓ; VALENTE, 2004). A disciplina econômica concorda que as tecnologias não são estáticas, as empresas agregam conhecimento pela experiência, para que, com a mesma combinação dos fatores de produção, possam gerar mais e mais produtos. A maior produtividade decorre da reorganização dos processos de produção, otimizando a estrutura organizacional, reduzindo-se desperdícios e melhorando procedimentos. (MANSFIELD; YOHE, 2006).

Isto posto, é neste ponto que a teoria da produção e a teoria dos custos de produção⁴ devem ser introduzidas, como marco teórico para discussão daquilo que a teoria da firma definiu como empresa e o comportamento dos fatores de produção na sua organização. Para Vasconcelos e Garcia (2004), as duas primeiras teorias juntas formam a chamada “teoria da oferta da firma individual”. Pindyck e Rubinfeld (2010) defendem que as teorias da produção e do custo são essenciais para a administração econômica da empresa, sendo úteis para a teoria da empresa, considerando seu papel de tomadora de decisões de produção, tendo como enfoque a minimização dos custos e a variação deles em relação ao processo de produção.

Ora, se uma das atividades essenciais da firma é transformar recursos em produtos (MANSFIELD; YOHE, 2006; MATTOS; TERRA, 2015), o escopo econômico da firma é a própria produção⁵. Assim, a teoria da produção, tomando a firma como unidade de estudo, preocupa-se com a relação técnica entre a quantidade dos insumos (*inputs*) e dos produtos

⁴ O pluralismo teórico utilizado nesta pesquisa é justificado pela relação estabelecida entre as teorias da produção, dos custos de produção e da firma. Trazendo esta última os elementos necessários para discussão das duas primeiras.

⁵ O termo ‘produção’ é compreendido como “o processo de combinar insumos para fazer produtos” como definem Hall e Lieberman (2003).

(*outputs*) (SIMONSEN, 1985; VASCONCELOS; GARCIA, 2004). O método utilizado para combinar os fatores de produção e transformá-los em produto é a técnica ou tecnologia que pode ser descrita por meio da função de produção. No sentido empregado, a tecnologia é considerada uma variável, uma restrição da produção, um determinante do comportamento da própria firma. Ou seja, o estado-da-arte da organização. (HALL; LIEBERMAN, 2003; MANSFIELD; YOHE, 2006).

Para Coelli *et al.* (2005) existe uma grande fraqueza na teoria econômica da produção: a pressuposição de que todas as firmas são eficientes. A análise atual da fronteira de eficiência, por outro lado, parte da ideia de que algumas firmas são ineficientes (Coelli et al., 2005).

Nesse sentido, Pindyck e Rubinfeld (2010) entendem que as decisões sobre produção podem ser estruturadas em três passos: (i) tecnologia de produção – a empresa deve definir como os insumos são transformados em produto; (ii) restrições de custo – a empresa deve considerar o preço dos insumos utilizados; (iii) escolha do insumo – a empresa precisa definir quanto de cada insumo utilizar.

Hall e Lieberman (2003, p. 187) estabelecem que a “**função de produção** nos informa a quantidade máxima de produtos que uma firma pode produzir durante determinado período”, ou seja, é “a relação entre as quantidades de vários insumos empregados num determinado período de tempo e a quantidade *máxima* da mercadoria que pode ser produzida a partir dessas quantidades nesse mesmo período de tempo” (MANSFIELD; YOHE; 2006, p. 179).

Observe que, pela teoria da produção, o que se analisa é a quantidade física, assim o resultado da função de produção, admitindo que a firma empregue da forma mais eficiente possível os fatores de produção, será a quantidade máxima de produção. A teoria dos custos da produção adiciona a essa análise a forma como a tecnologia de produção e os preços dos insumos estabelecem o custo⁶⁻⁷ de produção da empresa (VASCONCELOS; GARCIA, 2004; PINDYCK; RUBINFELD, 2010), sendo esse a soma dos valores dos serviços produtivos dos fatores aplicados ao produto (MATSUNAGA *et al.*, 1976).

⁶ O conceito de custo na perspectiva econômica leva em consideração o problema de alocação, assim o custo de produção é o valor de determinado insumo se ele fosse utilizado na alternativa de maior valor, ou seja, o custo de oportunidade.

⁷ Duas são as tipologias de custos de produção: (i) custos explícitos, refere-se aos efetivos pagamentos pelo uso do insumo; (ii) custos implícitos, refere-se aos custos de insumos para os quais não há pagamento direto. (MANSFIELD; YOHE, 2006).

A contribuição da teoria dos custos de produção é justamente auxiliar na análise e no tratamento de uma das restrições da firma: o custo. Dessa forma, a firma utiliza a função de produção e os preços dos fatores, por ela utilizados, como variáveis para obtenção do método que lhe garanta o menor custo em qualquer nível de produção (HALL; LIEBERMAN, 2003).

Por fim, as teorias da produção e do custo de produção, à luz da teoria da firma nos serve em dois propósitos: (i) como base para a análise das relações existentes entre produção e custos de produção; (ii) como apoio para análise da firma em relação aos fatores de produção por ela utilizados (VASCONCELOS; GARCIA, 2004).

Neste estudo, estas teorias sustentam a análise sobre as principais regiões produtoras de arroz, tratando-as como firmas cuja função é alocar de forma eficiente os recursos disponíveis, adotando-se como determinantes a produtividade e os custos dos fatores de produção empregados na cultura do arroz.

2.2 O agronegócio e a orizicultura: definições, características e panorama

Quando se pensa em agronegócio, de imediato vem à mente a ideia de produtos *in natura* e muitas vezes pensando-se de forma restrita somente em agricultura, tendo isto por fundamento nos primórdios do agronegócio, quando tanto a produção quanto a industrialização eram realizadas unicamente dentro das propriedades rurais. A evolução e a introdução de novas tecnologias refletiram na produtividade e na necessidade de estruturação de uma gama de atividades que funcionam em regime de colaboração (ARAÚJO, 2007). Assim, o agronegócio abrange uma cadeia de valor muito mais ampla, que vai desde o setor bancário, como potencial financiador, até a chegada dos produtos ao consumidor final (GASQUES *et al.*, 2012; FORNAZIER; VIEIRA FILHO, 2013).

Trata-se de um processo longo e que envolve uma gama de produtores, indústrias, comércio, prestadores de serviços. Pode-se afirmar que o agronegócio vai desde a organização de cadeias produtivas relacionadas aos negócios agropecuários, aos complexos agroindustriais, as cadeias agroindustriais e aos sistemas agroindustriais (CEPEA, 2016).

Para Davis e Goldberg (1957), precursores do termo *agribusiness*, agronegócio compreende um conjunto de todas as operações e transações envolvidas, desde a fabricação dos insumos até o consumo dos produtos, sejam *in natura* ou industrializados. O trabalho destes autores introduziu a concepção de negócios agrícolas, representados por um conjunto de elementos envolvidos nos processos de transformação e agregação de valor aos produtos agrícolas. Além disso, eles identificaram duas tendências do ambiente agroindustrial que

ocorria nos EUA que se estenderam, depois, para a maioria dos países: (i) mudanças significativas nos padrões tecnológicos; (ii) crescimento do inter-relacionamento entre setor produtivo e os demais segmentos econômicos (CARVALHO; LIMA; THOMÉ, 2015).

Nuintin, Curi e Santos (2012) defendem que o agronegócio, além das atividades agrícolas e pecuárias, abrange as operações de produção e distribuição de insumos, armazenamento, distribuição e atendimento ao consumidor. Neves e Conejero (2007, p. 6) elucidam que o conceito de agronegócio *significa agricultura interrelacionada y no tiene la dimensión del tamaño de la propiedad en su definición y operatoria.*”

Caume (2009, p. 29) corrobora com as percepções apresentadas e diz que:

Quando se fala em agronegócio, portanto, se está referindo a um processo econômico, historicamente evolutivo, de vinculação subordinada das tradicionais atividades agropecuárias a outros setores da economia. O termo remete não a particulares agentes econômicos, mas a uma multiplicidade de atores que participam desse processo integrador: agricultores, fabricantes de máquinas, implementos e insumos agrícolas, transformadores da produção agropecuária, bancos, Estado, comerciantes, distribuidores, transportadores, armazenadores e outros.

Zylbersztajn (2000) especifica dois níveis de agregação oriundos do conceito de agronegócio. No primeiro a firma é tida como uma unidade de produção em diversas etapas por que passa o produto de origem agropecuária. O segundo informa que a capacidade de coordenação do sistema é afetada pelo ambiente macroeconômico e institucional.

Dois modelos agrícolas bastante distintos foram desenvolvidos no Brasil, a agricultura camponesa e familiar e a agricultura patronal (agronegócio). A característica básica do primeiro é a policultura, a propriedade dos meios de produção e a força de trabalho familiar. Já no segundo, predomina a monocultura de *commodities*, uso intensivo de insumos, implementos e máquinas, uniformização dos sistemas produtivos, artificialização da terra e a existência de grandes firmas agroindustriais (SANTILLI, 2009). A história demonstra a importância do agronegócio brasileiro, basta estudar o ciclo da cana-de-açúcar, do café, da borracha e, mais recentemente, dos grãos. A relevância desta atividade se deve às características favoráveis como clima, grande extensão territorial, água, relevo, luminosidade, entre outros fatores (CEPEA, 2014; MORAES; BEHR; FARIAS, 2016).

Dados das primeiras décadas do Século XXI mostram a importância do PIB do Agronegócio no PIB total do Brasil. Observa-se na Figura 1 a participação do PIB-Agro no PIB brasileiro, que variou de 21,2% em 2000 até 21,5% em 2015. Ainda que a Figura 1 não

evidencie um constante crescimento, a participação do PIB-Agro continua sendo expressiva na economia brasileira, respondendo em média por um quinto do PIB brasileiro.

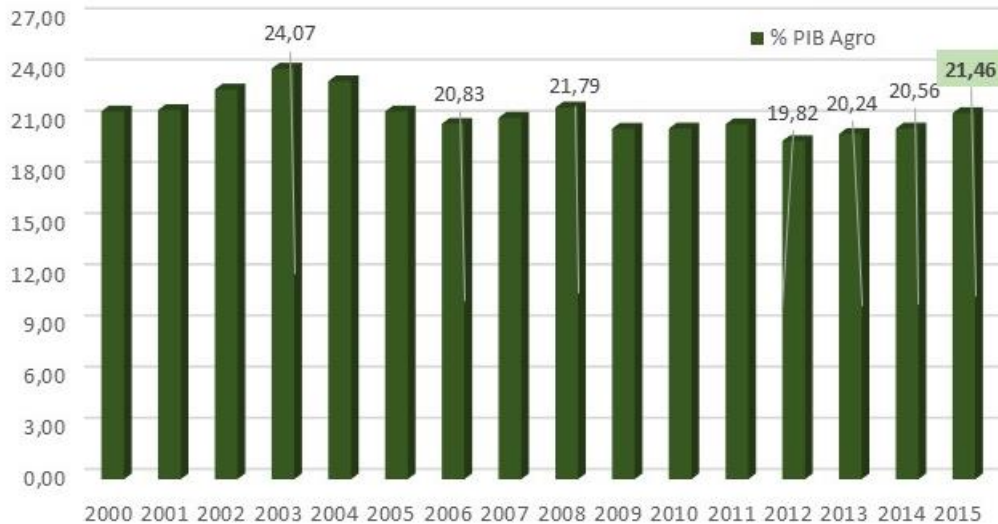


Figura 1. Participação do PIB Agronegócio no PIB Total - Brasil

Fonte: CEPEA (2016); IBGE (2016).

Observa-se na Figura 2 que apesar do movimento da queda abrupta do PIB brasileiro decorrida da intensa crise econômica agravada por fatores políticos internos, o PIB Agro mostrou-se positivo em 2015, apresentando um crescimento de 0,39% frente a uma queda de 3,85% do PIB Total, se considerados os dois últimos anos. Por outro lado, no lapso de tempo apresentado no Gráfico 2 o comportamento do PIB Agro tem variação de crescimentos de 8,81% e quedas de até 5,79% em alguns anos.

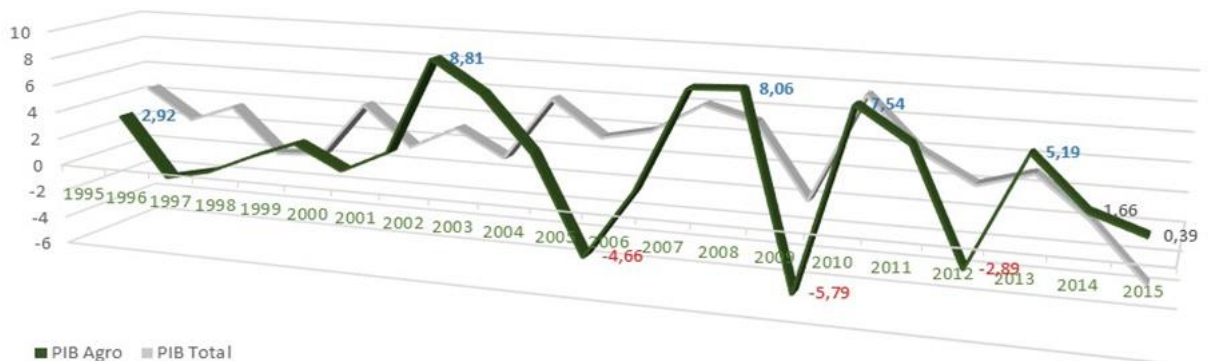


Figura 2. Evolução do PIB Agronegócio e do PIB Total - Brasil

Fonte: CEPEA (2016); IBGE (2016).

Para Mota *et. al* (2013), a agricultura é uma atividade relevante na economia do Brasil, sendo um setor cuja produção é base para outras atividades, inclusive indústrias, com forte relação com o mercado interno e externo. Dentre as várias cadeias do agronegócio brasileiro,

um dos destaques é a produção de grãos: soja, feijão, milho e arroz entre outros. Nas últimas 10 safras (2007/08 a 2016/17), a área plantada com grãos cresceu cerca de 28,4%, enquanto a produção e a produtividade cresceram, respectivamente, mais de 65,5% e 29,0%. Isso porque, embora o crescimento da produção agrícola no Brasil esteja mais fortemente relacionado com a ascensão da produtividade, parcela deste crescimento também depende da expansão de terras agrícolas. No mesmo período, a área plantada de arroz no Brasil reduziu 31,1%. Porém, a produção cresceu 2,1% e a produtividade da cultura deu um salto de 4.200 kg/ha (2007/08) para 6.224 kg/ha (2016/17), o que representa um crescimento de 48,2% (CONAB, 2015a; CONAB, 2017b). Ainda assim, a produtividade que vinha, desde a safra 2011/12, com tendência de crescimento, teve uma queda de 2,6% da safra 2014/15 para a de 2015/16, tendo se recuperado na safra 2016/17. Segundo a CONAB (2016b), o clima foi o fator responsável pelo declínio da produtividade na safra 2015/16, seja pelas altas temperaturas e/ou pela baixa ou alta incidência de chuvas.

O arroz é a terceira maior cultura cerealífera do mundo, depois do milho e do trigo (WANDER; SILVA, 2014). Nos últimos cinco anos, em média, mais de 160 milhões de hectares foram cultivados por safra no mundo, sendo que 75% da área cultivada adota o sistema de cultivo irrigado, com uma produção de mais de 700 milhões de toneladas de arroz em casca (USDA, 2017). Conforme demonstrado na Figura 3, o Brasil é o nono maior produtor de arroz do mundo, ficando atrás apenas dos países asiáticos.

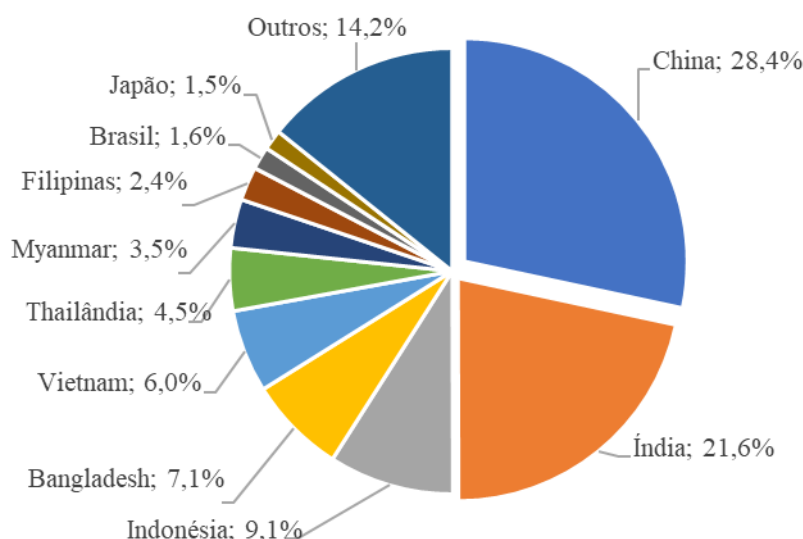


Figura 3. Os 10 maiores países produtores de arroz, produção acumulada de 2010 a 2016
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da FAO e da USDA (IRRI, 2017).

O cultivo deste cereal é um dos mais importantes em termos de valor econômico, sendo o produto um alimento básico para cerca de 2,4 bilhões de pessoas (BRONDANI *et al.*,

2006). Destaca-se que, considerando os últimos dez anos com dados disponíveis (2005-2014), o continente asiático tem sido responsável por 90,5% da produção mundial de arroz, conforme Figura 4. No mesmo período, o Brasil foi responsável por 1,8% da produção mundial e aproximadamente 52,5% da produção do continente americano (FAO, 2016).

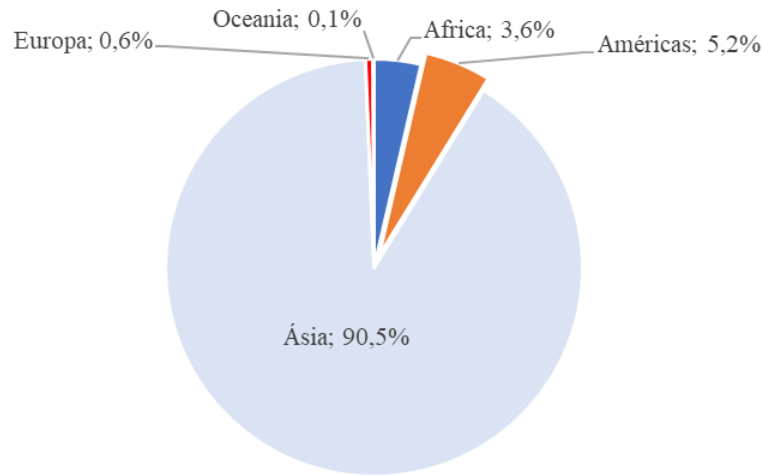


Figura 4. Produção de arroz, por continente, no período de 2005 a 2014
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da FAO (2016).

Outro aspecto relevante é a produtividade (t/ha) do arroz no mundo (Figura 5), pois apesar da produção mundial se concentrar no continente asiático, as maiores produtividades são observadas na Oceania e na Europa, continentes de não possuem nenhum representante entre os dez maiores países produtores do mundo.

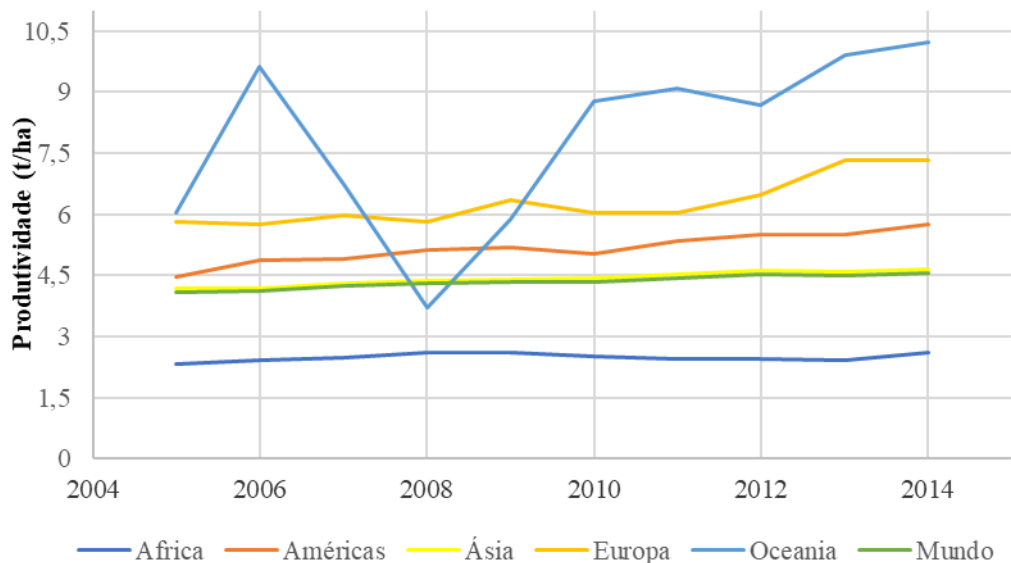


Figura 5. Produtividade de arroz, por continente, no período de 2005 a 2014
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da FAO (2016).

Na Figura 5, ver-se que a produtividade média mundial segue a do continente asiático, o que é justificável uma vez que nele se concentra mais de 90% da produção do globo. A produtividade do Brasil também orienta a evolução da produtividade do continente americano, pois evoluiu de 3,8 t/ha (safra 2005/06) para mais de 6,2 t/ha (safra 2016/17) (CONAB, 2015a; CONAB, 2017b). Como já se afirmou, o arroz é um dos alimentos mais consumidos no Brasil, o consumo é estimado em 11,5 milhões de t/ano (CONAB, 2017b).

O Brasil alcançou autossuficiência na produção do arroz no ano de 2004, quando a produção foi superior ao consumo interno. A partir deste momento, o excesso de produção passou a ser escoado para o mercado externo tendo como principais clientes algumas nações africanas, a Venezuela e países centro-americanos (CONAB, 2016). Nas últimas cinco safras, a produção foi superior ao consumo apenas em 2013/14, 2014/15 e 2016/17, contudo dados os estoques do país o suprimento do produto sempre é maior que o consumo, existindo uma pequena parcela de importação e exportação (CONAB, 2015a; CONAB 2017). O Brasil é considerado um exportador eventual, que vende ao mercado externo quando produz excedente (WANDER; SILVA, 2014). Os resultados da safra 2015/16 chamam atenção, o declínio da produção e da produtividade levou o Brasil a reduzir drasticamente seus estoques do produto de 2.125 t (2011/12) para 430,8 t (2015/16), sendo estimada uma melhora no estoque final da safra 2016/17 (1.458,6 mil toneladas) em virtude de safra recorde e redução da demanda estimada (CONAB, 2016b; CONAB, 2017).

Os dados disponíveis mais recentes revelam que a receita bruta da cultura do arroz no Brasil foi de mais de R\$ 8,8 milhões em 2015, tendo o país experimentado uma variação nominal positiva de aproximadamente 30,2% no período entre 2012 e 2015 em virtude da combinação do crescimento da renda e dos preços (CONAB, 2016c; CONAB, 2017b). A exceção do Distrito Federal, todos os estados brasileiros têm a presença da orizicultura. Contudo, a maior área cultivada e produção se concentra em poucos estados do país.

Tabela 1 - Orizicultura no Brasil, por regiões do país – em 1.000 toneladas (2016/17)

Região	Produção (mil t)	% sobre produção brasileira	Maior produtor da região	Produção do maior produtor (mil t)	% sobre a produção da região	% dos maiores produtores sobre produção brasileira
Sul	10.017,7	81,3%	RS	8.728,6	87,1%	69,4
Centro-oeste	732,3	5,9%	MT	530,0	72,4%	4,1
Norte	1.085,8	8,8%	TO	676,7	62,3%	5,8
Nordeste	437,3	3,5%	MA	255,9	58,5%	2,5
Sudeste	54,7	0,4%	SP	38,2	69,8%	0,4
Totais	12.327,8	100,0				82,2

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2017b)-

A Tabela 1, apresenta a participação de cada região brasileira e de seu principal estado produtor. Como se vê, apenas quatro estados (RS, MT, TO e MA) respondem por cerca de 82% da produção de arroz no Brasil, só o RS já representa cerca de 70% do arroz produzido na safra 2016/17 (CONAB, 2017b). Na Tabela 2 é possível analisar a distribuição dos estados produtores de arroz por classes de produtividade. Observa-se que as maiores produtividades (kg/ha), considerando a média das dez últimas safras (2007/08 a 2016/17), são verificadas nos estados do Rio Grande do Sul (7.293kg/ha) e Santa Catarina (7.033kg/ha).

Tabela 2 - Distribuição dos estados produtores de arroz por classe de produtividade

Produtividade	<i>Fi</i>	Estados
550 — 1675	6	PB, AP, PI, BA, AC e MA
1675 — 2800	6	AM, MG, CE, PA, ES e RO
2800 — 3925	5	RN, MT, GO, RJ e SP
3925 — 5050	2	TO e PR
5050 — 6175	5	PE, AL, MS, RR e SE
6175 — 7300	2	SC e RS

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2017b).

Ainda na Tabela 2 nota-se que dos 26 estados que produzem arroz, 17 possuem produtividade menor que 3.925 kg/ha, dentre eles a da Paraíba foi o estado que apresentou a menor produtividade (550 kg/ha) entre os dados observados.

Na orizicultura brasileira são adotados dois sistemas de produção: sequeiro (também chamado de cultivo em terras altas) e irrigado. Predomina o cultivo irrigado com 58% da área cultivada e 86% da produção total (BORÉM; RANGEL, 2015). No cultivo irrigado é aplicada alta tecnologia e obtém-se maior produtividade, ele está concentrado na região sul, especialmente no RS e SC. No cultivo sequeiro adota-se o plantio após o início das chuvas, o arroz é produzido em áreas não alagadas do cerrado, a utilização de tecnologia é menor apesar de ter evoluído nos últimos anos, este sistema está disseminado em todo o território brasileiro, sendo predominante no MT e MA, mas sua representatividade vem reduzindo, uma vez que ele concorre com outras culturas (como a soja e o milho) que em determinados momentos ocupam o espaço destinado a orizicultura (ALMEIDA, 2003; FERREIRA; SOUSA; DEL VILLAR, 2005; WANDER, 2006; WANDER; SILVA, 2014; CONAB, 2015; IBGE, 2016).

Os sistemas de cultivo da cultura de arroz diferenciam-se, quanto ao preparo do solo, ao manejo inicial da água, e aos métodos de semeadura, sendo os mais expressivos: plantio convencional (SPC), cultivo mínimo (SCM) e plantio direto e semidireto (SPD). No SPC o plantio se dá em três etapas: (1) preparos primários – são realizadas operações com arado para romper as camadas compactadas e eliminar e/ou enterrar a cobertura vegetal; (2) preparos

secundários – são realizadas operações superficiais com grades ou plainas para nivelar, destorroar, eliminar crostas superficiais, incorporar agroquímicos e eliminar plantas daninhas; (3) semeadura do arroz. No SCM as operações de preparo do solo são reduzidas, se comparado ao SPC, a mobilização do solo é menos utilizada. Por fim, o SPD caracteriza-se pela mínima movimentação do solo, a permanente cobertura do solo e pela prática de rotação de culturas, consiste na semeadura da semente diretamente no solo não revolvido. A adoção do SCM e do SPD auxilia no controle de arroz daninho, na melhoria da produtividade do solo e na redução de custos de produção (BRONDANI *et al.*, 2006; NUNES, 2016; SOARES; MORAES, 2016; PETRINI; VERNETTI JÚNIOR, 2017).

Dentro do sistema de produção irrigado são predominantes os sistemas de plantio convencional e o cultivo mínimo, este último é o mais utilizado na orizicultura (AYRES, 2010). O SCM e no SPC o preparo antecipado da semeadura demanda maior uso de maquinaria (CONAB, 2017b).

As alterações do mercado do arroz no Brasil elevaram a competitividade entre os produtores, exigindo maior gerenciamento dos custos e a otimização da estrutura produtiva. Isto porque a produção agrícola sofre interferência de aspectos como política do setor, incentivos e preços do mercado, tributação, taxa de câmbio, relação de oferta/procura, e principalmente o custo de produção (MARION; EINLOFT, 2008). A avaliação dos custos de produção neste caso possibilita diversas análises, entre elas a de rentabilidade: métrica essencial para se verificar a eficiência de uma atividade produtiva (VIANA; SILVEIRA, 2008). Assim, pode-se afirmar que os aspectos ligados à gestão de custos e à contabilidade podem auxiliar a compreensão e o tratamento deste cenário, como se apresenta no tópico a seguir.

2.3 A contabilidade e os custos de produção no agronegócio

Ao longo de sua estruturação enquanto ciência, a contabilidade tem se estabelecido sob diversos modelos, contudo sua essência foi sistematizada pelo Frei Luca Pacioli em um capítulo da obra *Súmula de Aritmética, Geometria, Proporções e Proporcionalidade*, editada em 1494, no qual está inserida a disciplina contábil aplicada ao comércio por meio do sistema de partidas dobradas (SÁ, 2004; BUESA, 2010).

Ainda que se reconheça que o desenvolvimento da contabilidade se deu, pelo menos de forma mais sólida, depois da sistematização das partidas dobradas, não há consenso histórico quanto a sua origem. Iudicibus e Marion (2009) entendem que a contabilidade é

bastante antiga, tendo se desenvolvido desde o início das relações do homem com a atividade econômica, ou, talvez, desde o surgimento do homem sábio, comentam os autores.

Fato é que a contabilidade é uma ciência estritamente relacionada com o homem e com a relação dele na sociedade. E por que não dizer das necessidades informacionais e de controle do homem frente a sua atividade econômica e formação patrimonial. Portanto, no seu berço, a contabilidade voltava-se para sua abordagem gerencial e para atender aos interesses de usuários internos (IUDÍCIBUS, MARTINS e CARVALHO, 2005; MARTINS, DINIZ e MIRANDA, 2012).

A contabilidade de custos está na interseção entre a contabilidade gerencial e a contabilidade financeira, servindo de instrumento de auxílio e controle da gestão dos estoques e produção das entidades, e na geração de informações para a tomada de decisão gerencial (VIEIRA; MACIEL; RIBAS, 2009). Aplicada nas atividades relacionadas ao agronegócio está vocacionada ao estudo dos custos de produção, que envolvem todos os gastos suportados para obtenção do produto (RAINERI; ROJAS; GAMEIRO, 2015). Na literatura contábil diversos autores (MARION, 1996; SANTOS; MARION, 1996; CREPALDI, 1998; MARION, 2005; OLIVEIRA, 2009; NAKAO, 2017) se debruçam no estudo e estruturação dos procedimentos de contabilização e controle na área do agronegócio.

Segundo Hofer *et. al* (2006), com frequência o agricultor recebe menos pelo produto colhido do que paga pelos insumos utilizados no cultivo, sendo necessário que adote meios para reduzir os custos de produção, evitar desperdícios e melhorar o planejamento e o controle da atividade produtiva, servindo-se neste caso da contabilidade de custos.

Raineri, Rojas e Gameiro (2015) entendem que a análise de custos é de grande relevância para buscar identificar as restrições que obstaculizam uma melhor organização da atividade produtiva, de forma que no ambiente do agronegócio, esta análise é imprescindível para a expansão da competitividade.

A importância da contabilidade de custos não deve ficar circunscrita ao levantamento de informações dos gastos fixos e variáveis. A necessidade de informações de cunho gerencial exige desta aplicação contábil a utilidade para a tomada de decisão. Neste contexto, fala-se da Gestão Estratégica de Custos (GEC), que surgiu para preencher as lacunas da contabilidade de custos em relação à sua capacidade de fornecer informações tempestivas e úteis à tomada de decisões estratégicas.

As mudanças no contexto político, social e econômico mundial, o surgimento de novas demandas relacionadas a questões ambientais, a qualidade dos produtos, tecnologias, sistemas de informação e os demais desafios impostos às organizações e principalmente o cenário de

competitividade desencadearam discussões acerca da gestão das organizações. Simmonds (1982) já discutia o conceito de contabilidade gerencial estratégica, sendo mais tarde introduzido o conceito de GEC⁸ por autores como Johnson e Kaplan (1987), Berliner e Brimson (1988) e Shank (1989) e Shank e Govindarajan (1992) (BORINELLI *et al.*, 2005; ANDERSON, 2006; CANEVER *et al.*, 2012; SOUZA; HEINEN, 2012; RAUPP *et al.*, 2012).

Depreende-se que a compreensão da gestão estratégica de custos no contexto do agronegócio, e mais especificamente no cultivo do arroz, conduz para a percepção de que a competitividade do setor está relacionada à melhoria da produtividade e à redução de custos de produção. Assim, o conhecimento dos elementos da cadeia de valor e dos determinantes de custos do setor pode auxiliar o processo de gestão e da obtenção de vantagem competitiva. O custo de produção é um instrumento essencial de controle e gerenciamento de atividades produtivas, é um indicador das escolhas do produtor (CONAB, 2010).

Silva (2005) esclarece que a gestão é um conjunto de atividades aplicadas para dar maior eficiência e eficácia ao uso dos recursos disponíveis. No agronegócio, e conseqüentemente na orizicultura, o gerenciamento de custos exige utilização de tecnologias e conhecimento para tratar os riscos e as incertezas da própria atividade (clima, economia e política). Assim, os produtores devem estabelecer uma função de produção que os auxilie a usar eficientemente os fatores de produção (terra, capital e trabalho) e otimizar a produtividade numa perspectiva estratégica (SLACK *et al.*, 1999).

Rezende, Leal e Machado (2015) desenvolveram um estudo com o objetivo de mapear as características das produções científicas com temática relacionada a custos aplicados ao agronegócio. Dentre outros resultados, a pesquisa evidenciou que a área temática mais expressiva é a gestão de custos nas empresas agropecuárias, no agronegócio e na agricultura, tendo o número de publicações aumentado nos últimos 20 anos. A evolução constatada é consistente com a relevância das informações de custos de produção na análise do desempenho organizacional e operacional do agronegócio (SILVA; GUSE; LEITE, 2015).

A CONAB, empresa pública federal vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), responsável pela gestão das políticas agrícolas e de abastecimento, desde a década de 1970 vem estudando metodologias para o cálculo de custos de produção. Na década de 1990, estudos internos da empresa subsidiaram a elaboração e a divulgação de uma primeira metodologia de cálculo. No final de 2002, a entidade já disponibilizava os

⁸ Para melhor compreensão da gestão estratégica de custos consultar: Shank e Govindarajan (1997); Hansen e Mowen (2003); Souza e Heinen (2012); Raupp *et al.* (2012).

custos de produção das culturas como arroz, feijão, milho e soja de regiões selecionadas (CONAB, 2010).

Desde a instituição do Programa de Garantia de Preços para a Agricultura Familiar (PGPAF), pelo Decreto nº 5.996, de 20 de dezembro de 2006, a CONAB passou a ser legalmente responsável pela elaboração e atualização de diversos produtos agrícolas. A entidade, há quase três décadas, tem atuado na construção de uma metodologia de apuração de custos, tendo neste intervalo de tempo efetuado diversas revisões, ampliado o seu escopo de atuação e aumentado a periodicidade das atualizações.

Os custos de produção são todos os gastos incorridos com os insumos utilizados na produção de bens ou serviços. Pode ser classificado em direto (quando se vincula diretamente ao que é produzido), indireto (quando não pode ser individualizado para cada produto, e depende de rateio para ser apropriado corretamente), fixo (quando independe do volume de produção) e variável (quando altera-se em função da quantidade produzida).

A metodologia de cálculo da CONAB busca contemplar todos os itens de dispêndio assumidos na produção, sendo eles explícitos ou não, desde a preparação e a correção do solo até a fase inicial de comercialização do produto. Para o cálculo dos custos relacionados a uma determinada cultura, p. ex.: para o arroz, a metodologia considera as características da unidade produtiva, a diversidade dos padrões tecnológicos e os preços dos fatores utilizados (CONAB, 2010).

Pela metodologia de cálculo da CONAB, os custos de produção podem ser classificados em: (i) Custo variável, assim considerados os elementos de custeio com a lavoura, outras despesas e despesas financeiras; e (ii) Custo fixo, composto por depreciação, outros custos fixos e a renda de fatores (remuneração do capital fixo, da terra própria e arrendamento).

Como sumarizado no Quadro 1, a soma dos custos variáveis com os custos fixos chega-se ao Custo Total (CT) da produção. Pode-se afirmar que os custos de produção de arroz, calculados pela CONAB, incluem insumos, mão-de-obra, terra, máquinas, implementos e taxa de uso de tecnologias e serviços, e todos eles são considerados variáveis para a análise que se pretende neste trabalho.

Quadro 1 - Discriminação dos custos de produção do arroz

Componente de custo	Grupo	Discriminação	Sigla
Custo Variável CV (A)	Custeio da Lavoura	Operação com animal	OPANI
		Operação com avião	OPAVI
		Operação com máquinas	OPMAQ
		Aluguel de máquinas	ALMAQ
		Aluguel de animais	ALANI
		Mão-de-obra temporária	MDOTP
		Mão-de-obra fixa	MDOFX
		Sementes	SEMS
		Fertilizantes	FERTS
		Agrotóxicos	AGRTX
		Água	AGUA
		Receita	RECTA
		Outros itens	OUTRO
		Serviços diversos	SERVD
	Outras despesas	Transporte externo	TREXT
		Despesas administrativas	DESPAD
		Despesas de armazenagem	DESPAR
		Seguro da produção	SEGPRO
		Seguro de crédito	SEGRE
		Assistência Técnica	ASTEC
Contribuição Especial da Seguridade Social Rural		CESSR	
Taxa de Cooperação e Defesa da Orizicultura		CDO	
Despesas financeiras	Juros de financiamento	JUROS	
Custo Fixo CF (B)	Despesas de depreciação	Depreciação de benfeitorias/instalações	DPBFT
		Depreciação de implementos	DPIMP
		Depreciação de máquinas	DPMAQ
	Outros custos	Manutenção Periódica Benfeitorias/Instalações	MANPR
		Encargos Sociais	ENCSSO
		Seguro do capital fixo	SEGCF
	Renda de fatores	Remuneração esperada sobre o capital fixo	REMCF
		Terra própria	TERP
		Arrendamento	ARREN
Custo Total		(A + B)	CT

Fonte: Elaborado a partir de dados do CONAB.

Para Pereira e Moura (2013) o gerenciamento dos custos é essencial para o alcance da eficiência operacional, por meio da racionalização e como base para a tomada de decisões. Oliveira *et al.* (2014) ressaltam que o agronegócio brasileiro se destaca por sua eficiência produtiva, contudo a manutenção do bom desempenho do país exige avanços sucessivos de tecnologias que alavanquem a produtividade. As particularidades da atividade agrícola tornam imperativo que o produtor faça escolhas racionais e utilize de forma eficiente os fatores de produção (CONAB, 2010) e tomem decisões racionais fundadas em variáveis operacionais e financeiras, inclusive relacionadas aos custos produtivos. É nesse sentido que no tópico a seguir se discute o conceito de eficiência e a forma como ela pode ser medida.

2.4 Conceitos e medidas de eficiência

No processo de mensuração do desempenho de uma firma em regra verifica se ela está sendo mais ou menos eficiente e/ou mais ou menos produtiva. A eficiência, a produtividade e a eficácia são critérios adotados na avaliação do sucesso de uma firma (LOVELL, 1993; LAPA; NEIVA, 1996; TUPY; YAMAGUCHI, 1998; KASSAI, 2002).

A eficiência é um conceito fundamental da teoria econômica neoclássica, sendo definida como uma medida comparativa entre um indicador de desempenho com o valor máximo possível dado às condições de contorno, podendo ser considerada absoluta ou relativa. Na eficiência absoluta a produtividade máxima é um valor teórico e ideal. Quando um desempenho pode ser superado, ou o limite não pode ser facilmente determinado, a medida de eficiência relativa é mais adequada, pois parte do pressuposto que o valor máximo é o maior valor observado na prática (KASSAI, 2002; MARIANO; ALMEIDA; REBELATTO, 2006; CLEMENTE; GOMES; LÍRIO, 2015; STAHLSCHMIDT NETO, 2016).

A produtividade pode ser definida como a razão entre saídas e entradas de uma firma, será parcial quando for a razão entre uma entrada e uma saída (custo total/ha; kg/ha etc.), e total quando expressar a razão entre a combinação linear das saídas e das entradas, conforme a Equação 1.

$$Produtividade = \frac{u_1 * y_1 + u_2 * y_2 + u_3 * y_3 \dots + u_i * y_i}{v_1 * x_1 + v_2 * x_2 + v_3 * x_3 \dots + v_i * x_i} = O_v / I_v \quad (1)$$

A produtividade de uma firma é influenciada pela sua habilidade de transformar *inputs* em *outputs* e pelo tamanho da produção. A combinação linear entre as saídas e entradas é dada por meio de média ponderada dos *outputs*, é denominada *output* virtual (O_v) e dos *inputs*, é denominada *input* virtual (I_v). Por vezes, a produtividade e a eficiência produtiva são vistas como medidas similares, já que esta última também é concebida como a relação entre entradas e saídas de um sistema produtivo. Contudo, a diferença entre elas é o fato de que a produtividade é um índice que agrega diferentes unidades de medida e que pode assumir qualquer valor real, já a eficiência é sempre um valor entre 0 e 1 (KASSAI, 2002; MARIANO, 2008).

Outro conceito relevante neste contexto é o da eficácia, este índice foca apenas o objetivo, p.ex.: produção total de arroz, desprezando os fatores utilizados para alcançá-lo, ou

seja, desconsidera as condições de contorno, o desempenho é comparado a uma meta definida arbitrariamente (KASSAI, 2002; CLEMENTE; GOMES; LÍRIO, 2015).

Koopmans (1951) foi pioneiro no estudo da eficiência produtiva, para o autor

[...] um gestor, que produz dois ou mais produtos com certos insumos, é eficiente se ele somente conseguir aumentar a produção de um bem, diminuindo a produção de algum outro, ou quando é tecnologicamente impossível reduzir algum insumo sem simultaneamente incrementar algum outro recurso para manter o mesmo nível de produção. (KOOPMANS; 1951, p. 60).

Pela definição de eficiência produtiva (Equação 2) de Pareto-Koopmans uma firma é eficiente se, e somente se, nenhum *input* puder ser reduzido sem reduzir também os *outputs* ou se nenhum *output* puder ser aumentado sem aumentar também os *inputs* (DAO, 2013):

$$Eficiência = P/P_{max} \quad (2)$$

Em que:

E : eficiência

P : produtividade atual de uma firma

P_{MAX} : produtividade máxima que pode ser alcançada por uma firma

Depreende-se que a compreensão do conceito de eficiência está ligada tanto à compreensão da firma e do objetivo que ela persegue quanto às funções de produção e do custo de produção que são estabelecidas pelas relações dos fatores utilizados e dos produtos gerados. Assim pode-se afirmar que o conceito de eficiência é amplo, existindo diferentes medidas que permitem a compreensão, em múltiplas dimensões, de um sistema produtivo. Na Figura 6 são apresentados os tipos de eficiência e como elas se relacionam.

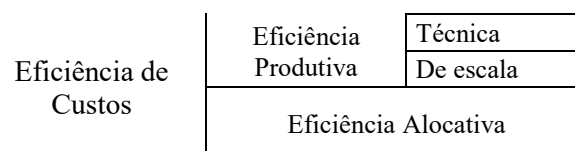


Figura 6. Tipos de eficiência

O estudo desenvolvido por Farrell (1957) foi um dos primeiros a abordar a mensuração da eficiência, o autor lançou dois de seus componentes: a eficiência técnica e a eficiência alocativa, que combinados fornecem uma medida de eficiência econômica (de custos ou receita) (KIATPATHOMCHAI, 2008; KOČIŠOVÁ, 2015).

Para Farrell (1957), a eficiência é dada pela distância da posição que se observa entre a firma e a fronteira de produção que se tem como referência. A metodologia desenvolvida pelo

autor, a partir de um caso prático na agricultura norte-americana, ampliou o conceito de eficiência, introduzindo a discussão do quanto uma firma consegue produzir a mais sem elevar proporcionalmente os insumos consumidos, com base apenas nos dados empíricos.

A eficiência técnica tem relação com a produtividade de uma estrutura, comparada a outras. Sendo eficiente a firma que, com determinado volume de insumos, consiga atingir o máximo de produtos possíveis (CHEBIL *et al.*, 2016; PACHIEL, 2009). A eficiência técnica refere-se à capacidade de produzir um determinado nível de produção com uma quantidade mínima de insumos, sob uma determinada tecnologia (OMONONA; EGBETOKUN; AKANBI, 2010). Ou seja, não há desperdícios de recursos no processo produtivo, sendo a eficiência técnica a relação da produção observada com uma produção potencial.

Segundo Dhungana, Nuthall e Nartea (2004), a eficiência técnica pode ser decomposta em dois componentes: eficiência técnica pura e eficiência de escala. A eficiência técnica pura é obtida quando o efeito da escala é expurgado da eficiência técnica. Para que uma firma seja eficiente em escala, deve-se obter o mesmo nível de eficiência técnica e de eficiência técnica pura.

A eficiência alocativa refere-se à escolha das proporções de insumos ótimas, dado os preços relativos. O enfoque aqui é a combinação dos insumos que minimiza os custos de produção (PEREIRA; MENDES, 2002; BRIGATTE *et al.*, 2011). Nesse sentido, a eficiência alocativa (Equação 3), em vez de uma quantidade mínima de fatores de produção, considera um custo mínimo, e em vez de um máximo de produto, um máximo de lucro ou receita:

$$EA = \left(\frac{C_{ótimo}}{C_{atual}} \right) \text{ ou } EA = \left(\frac{L_{atual}}{L_{ótimo}} \right) \quad (3)$$

Em que:

$C_{ótimo}$: custo da alocação de recursos ótima.

C_{atual} : custo atual.

$L_{ótimo}$: lucro da alocação de recursos ótima.

L_{atual} : lucro atual.

À luz da teoria de eficiência, pelo conceito de eficiência de custo, tem-se como eficiente a unidade produtiva que utiliza o método de produção mais barato para produzir uma determinada quantidade de produto (VASCONCELLOS; GARCIA, 2004). Assim a eficiência de custos (Equação 4) é o produto da eficiência técnica e alocativa (COELLI; RAHMAN; THIRTLE, 2002):

$$EC = ET \times EA \quad (4)$$

Utilizadas como base para análise de eficiência, as curvas de produção da teoria econômica, buscam demonstrar a relação entre os recursos e produtos, sendo três as hipóteses possíveis de retorno de escala: crescente (Figura 7) – o aumento no consumo de recursos implica em um aumento mais que proporcional de produtos, exemplo: um aumento de 5% na força de trabalho determina um aumento de 20% na produção; decrescente (Figura 8) – o aumento no consumo de recursos implica em um aumento menos que proporcional de produtos, exemplo: um aumento de 20% na força de trabalho determina um aumento de 5% na produção; constante (Figura 9) – um aumento no consumo de recursos corresponde a um aumento proporcional de produtos, exemplo: um aumento de 20% na força de trabalho determina um aumento de 20% na produção (KASSAI, 2002; CARMELOSI, 2014).

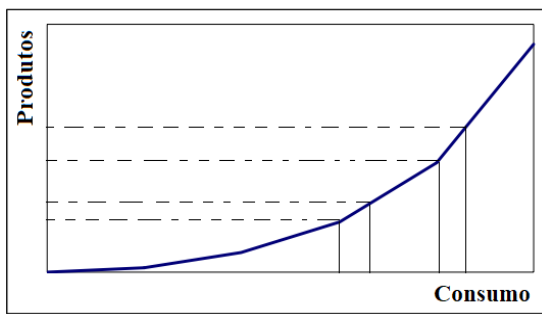


Figura 7. Retornos crescentes de escala

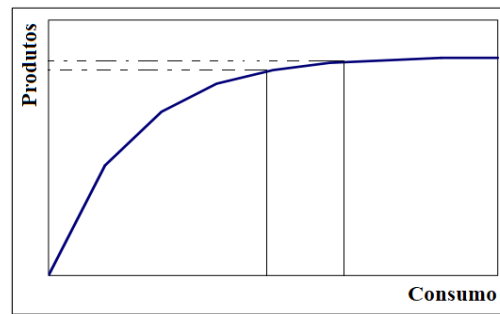


Figura 8. Retornos decrescentes de escala

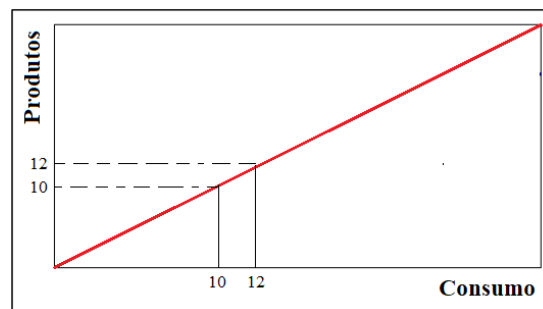


Figura 9. Retornos constantes de escala

O índice de eficiência da escala mede a importância da escala de produção na determinação da eficiência técnica. Assim, ela é determinada a partir da apuração da divergência entre o tamanho real da escala e o tamanho da escala mais produtiva (BANKER; BARDHAN; COOPER, 1996; MARIANO, 2008; WONGNAA, 2016). A eficiência da escala (EE) é obtida (Equação 5) pela razão da eficiência técnica calculada sob a hipótese de retornos constantes de escala (RCE), com eficiência técnica calculada sob a hipótese de retornos variáveis de escala (RVE) (DAO, 2013):

$$EE = \frac{ET_{RCE}}{ET_{RVE}} \quad (5)$$

A eficiência de escala examina se uma firma está operando no seu tamanho ideal. Produzir mais ou menos bens ou produtos que o nível ótimo, resulta em custos adicionais (SOWLATI, 2001).

Neste trabalho, a compreensão dos componetes da eficiência: técnica, de escala, alocativa e de custos, é importante para viabilizar a análise comparativa entre as regiões produtoras de arroz, em razão do desempenho dos custos, e ao mesmo tempo localizar e mapear as possíveis causas das ineficiências. E, assim, disponibilizar informações úteis para a tomada de decisão, orientada para a conquista e a manutenção da eficiência na orizicultura (ALMEIDA; MACEDO, 2010; GOMES; MANGABEIRA; MELLO, 2005).

2.5 Análise envoltória de dados

A DEA é uma ferramenta matemática cujo desenvolvimento iniciou no trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes (1978). Rhodes foi orientado por Charnes na sua tese de doutorado, que tinha como objetivo verificar se a adesão das escolas a um programa educacional americano melhorava a eficiência da instituição, comparando com escolas que não haviam aderido ao programa. Contudo, não existia uma técnica disponível com a qual Rhodes pudesse analisar múltiplas entradas e saídas, com variáveis distintas, e não mensuradas monetariamente (ex.: aprendizado do aluno, desempenho). Tomando por base o artigo de Farrel (1957) que tratava do passo-a-passo para a definição de eficiência, Charnes, Cooper e Rhodes (1978) aplicaram otimização para calculá-la, introduzindo a DEA no campo da pesquisa operacional e as bases para o desenvolvimento de abordagens não paramétricas para a avaliação de eficiência (CHARNES; COPPER; RHODES, 1978; SOWLATI, 2001; MARIANO, 2008).

A eficiência também pode ser mensurada por meio de técnicas paramétricas (determinísticas e fronteira estocástica) que apresentam vantagens como: ser menos sensíveis a *outliers* e ruídos, permitirem inferência estatística, e restrição em relação a quantidade de saídas, aceitar apenas um *output* (MARIANO, 2008). A principal limitação das abordagens paramétricas é a necessidade de conhecimento, ou instrumentos estatísticos para estimação, prévia da fronteira de produção (CLEMENTE; GOMES; LÍRIO, 2015). Segundo Emrouznejad e Witte (2010) enquanto os modelos paramétricos assumem uma especificação particular a priori no processo de produção, os modelos não-paramétricos permitem que os dados falem por si mesmos.

Assim, as abordagens não-paramétricas encontram amplo campo de aplicação, pois têm por base a construção empírica da fronteira de eficiência, não exigindo o conhecimento da forma funcional do relacionamento entre os *inputs* e os *outputs*, e podem ser empregadas em análises com múltiplas entradas e saídas (KASSAI, 2002; SENRA *et al.*, 2007; CARMELOSSI, 2014). A DEA é uma técnica não-paramétrica, que transforma um problema econômico de mensuração da eficiência, que tem como base uma função de produção, em um problema de otimização que pode ser resolvido pela programação matemática (MARIANO, 2008; CLEMENTE; GOMES; LÍRIO, 2015). Sendo um modelo matemático, os resultados ficam adstritos à amostra analisada. Os modelos clássicos da técnica não permitem inferências estatísticas, contudo já existem pesquisadores desenvolvendo testes estatísticos para as medidas da DEA (BANKER; NATARAJAN, 2007).

O primeiro problema para o cálculo da eficiência é a determinação da produtividade máxima que uma firma pode alcançar. A DEA propõe que seja adotada a maior produtividade observada dentre as firmas comparadas, filia-se, portanto, ao conceito de eficiência relativa para estabelecer a fronteira de eficiência traçada empiricamente. O segundo problema é a atribuição de pesos, a DEA resolve isso atribuindo para cada *input* e *output* o peso que seja mais vantajoso para cada firma, assim os pesos atribuídos são aqueles que maximizam a eficiência individual das firmas comparadas (MARIANO, 2008; RESENDE; COSTA; FERREIRA, 2011).

Com a DEA é possível comparar empresas, governos, setores, atividades, países, regiões etc, tudo que relaciona um conjunto de entradas com um conjunto de saídas, tendo um amplo espectro de aplicação. São três os seus elementos básicos: DMU – as unidades comparáveis, *inputs* e *outputs*. As DMUs que compõem um modelo de análise precisam ser homogêneas, ou seja, precisam estar nas mesmas condições de contorno. A compreensão de homogeneidade não é clara na literatura e pode ser um aspecto limitador da aplicação do modelo (CHEBIL *et al.*, 2016; SOWLATI, 2001; CARMELOSSI, 2014; STAHLSCHEMIDT NETO, 2016).

Como se apresentou na teoria da produção, a DEA faz uma análise da combinação dos fatores de produção que permite o melhor resultado e a maior produtividade. Salienta-se que os *inputs* e os *outputs* são iguais para todas as unidades, o que varia é a quantidade consumida e produzida (AZAMBUJA, OLIVEIRFA, LIMA, 2015; MEZA *et al.*, 2003).

A modelagem matemática da DEA é detalhada em diversos trabalhos (PEREIRA, 1995; SOUZA, 2003; SURCO, 2004; MARIANO, 2008), não é objetivo deste estudo fornecer uma discriminação da programação dos modelos. No entanto, para compreender os resultados

fornecidos pela DEA, deve-se ter claro que todo problema de programação linear apresenta duas perspectivas: a primal, conhecida como forma dos multiplicadores, e a dual, conhecida como forma do envelope. Cada uma delas oferecem diferentes possibilidades de análise, enquanto a resolução do problema primal fornece o escore de eficiência, a resolução do problema dual fornece dados para analisar as metas, *benchmarks*, falsas eficiências e retorno de escala (SOWLATI, 2001; MALANA; MALANO, 2006; MARIANO, 2008; SOUZA, 2013).

Portanto, a DEA fornece como principal resultado a eficiência, e ainda: separa as DMUs em dois grupos (1) eficientes e (2) ineficientes; fornece alvos para que DMUs ineficientes alcancem a fronteira de eficiência; identifica as DMUs *benchmarks* para cada DMU ineficiente etc. O aumento da aceitação do modelo se deve principalmente sua objetividade (SENRA *et al.*, 2007; KASSAI, 2002).

Existem dois modelos clássicos da DEA: CCR e BCC. Charnes, Cooper e Rhodes (1978) desenvolveram o primeiro deles, conhecido pela sigla CCR, iniciais dos nomes dos criadores. O modelo CCR trabalha com o pressuposto de retornos constantes de escala, indicando que as saídas crescem proporcionalmente ao crescimento das entradas. Banker, Charnes e Cooper (1984) desenvolveram o BCC, eles buscaram incorporar o retorno de escala na DEA, nele uma DMU só é comparada a outras que operem em escalas semelhantes. Assim, diferente do modelo CCR que engloba a eficiência técnica e de escala (eficiência total), o BCC isola a influência da escala de produção na eficiência, representando uma medida de eficiência técnica pura.

A Figura 10 demonstra o comportamento das fronteiras nos modelos BCC e CCR, bem como ilustra os conceitos de (ine)eficiência técnica e de escala tratados no tópico anterior.

Casado e Souza (2007, p. 67) mostram que tanto o CCR quanto o BCC podem ser orientados a *outputs* “no qual se obtém o máximo nível de *outputs* mantendo os *inputs* fixos” ou orientados a *inputs* “que visa a obter um menor uso de *inputs* dado o nível dos *outputs*”. Contudo, como no modelo CCR a fronteira de eficiência é linear, os escores de eficiência tanto em uma como em outra orientação serão os mesmos.

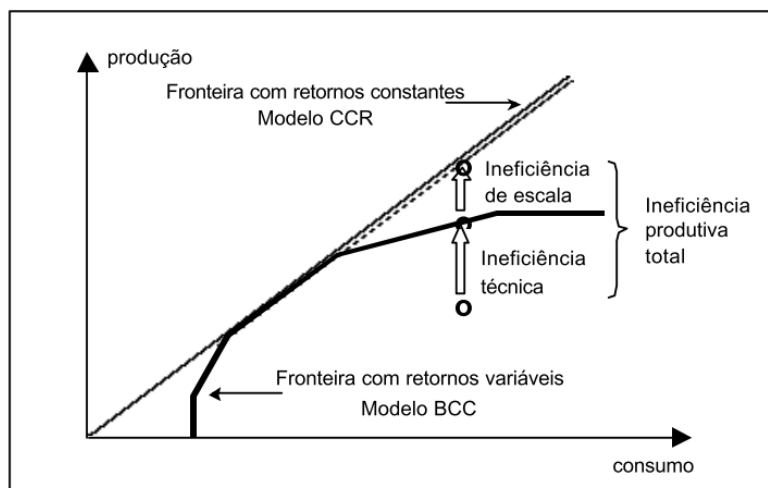


Figura 10. Fronteiras de produção DEA-BCC e DEA-CCR
Fonte: Belloni (2000)

Não há restrição do uso da DEA para avaliação da eficiência de qualquer tipo de firma, a única exigência é que as DMUs envolvidas nas comparações envolvam grupos homogêneos, para o qual seja possível identificar as melhores práticas de mercado e os *benchmarks* (CASTRO, 2003; CESARO *et al.*, 2009).

Como já afirmou-se, a principal vantagem da DEA é o fato dela não requerer a especificação de uma função de produção (SILMAR; WILSON, 2013; PÉRICO; SANTANA; REBELATTO, 2016), além disso a técnica consegue trabalhar com múltiplas entradas e saídas sem viés de agregação de entrada e saída, é capaz de identificar os potenciais de melhoria para o conjunto de firmas avaliados em diferentes cenários (WATTO; MUGERA, 2014; KOČIŠOVÁ, 2015), sendo uma abordagem mais apropriada para estimar a eficiência quando o tamanho da amostra é pequeno (WATTO; MUGERA, 2014).

Mesmo oferecendo uma abordagem equilibrada para a medição de desempenho, a DEA possui algumas desvantagens: o número elevado de entradas e saídas pode provocar pouca discriminação entre as DMUs (THANASSOULIS; BOUSSOFIANE; DYSON, 1996); sua natureza determinista não lhe permite distinguir entre ineficiência técnica e efeitos de ruídos estatísticos, pois assume que todos os desvios da fronteira estão sob controle do agente, o que nem sempre é real (CESARO *et al.*, 2009); é muito difícil aplicar inferências estatísticas nos escores de eficiência (TZIOGKIDIS, 2012; PÉRICO; SANTANA; REBELATTO, 2016).

A DEA nasceu para trabalhar com análise *cross section*, ou seja, múltiplas DMUs em um mesmo período de tempo. Um dos pressupostos relacionados a DEA é que as DMUs estejam trabalhando em uma mesma tecnologia, a utilização de períodos muito diferentes pode ferir isso. A literatura tem desenvolvido formas de estruturar a análise de séries

temporais aplicada à DEA, sendo possível, investigar um conjunto de dados em que cada firma em dado período de tempo seja adotada como uma DMU distinta, desde que o conjunto de dados permaneçam homogêneos, sem grande alteração da tecnologia. Nesta metodologia de análise será difícil separar ineficiências gerenciais, alteração da tecnologia e aspectos ambientais (GOLANY; ROLL, 1989; TULKENS; EECKAUT, 1995; KASSAI, 2002; MARIANO; SOBREIRO; REBELATTO, 2015).

Por fim, a DEA é uma técnica muito permissiva, ela sempre atribui o peso mais vantajoso para cada DMU, o que pode provocar o empate de muitas DMUs. Para contornar este problema foram estruturadas algumas extensões ao modelo chamadas de métodos de desempate, que podem ser classificados como objetivos e subjetivos. Nos modelos subjetivos o critério de desempate é externo, definido pelo pesquisador (restrições aos pesos; inserção de DMU fictícia etc). No modelo objetivo o critério de desempate tem origem no próprio modelo DEA, são exemplos: super-eficiência, fronteira invertida e eficiência cruzada. Existem ainda critérios de desempate qualitativo, p.ex.: o número de vezes que uma DMU eficiente serviu de referência para DMUs ineficientes (ALMEIDA; MARIANO, 2007; BRITO, 2013; MARIANO; SOBREIRO; REBELATTO, 2015).

A super-eficiência foi um dos primeiros modelos de desempate criado no contexto da DEA, a metodologia ajuda a discriminar as DMUs eficientes na fronteira, a sua utilização como método de desempate atualmente é criticada pela literatura. Porém ela é recomendada e útil para a identificação de *outliers* e avaliação de estabilidade da eficiência (ANDERSEN; PERTENSEN, 1993; CHEN, 2003; EMROUZNEJAD; WITTE, 2010; FANG et al., 2013).

A fronteira invertida consiste em rodar a DEA trocando-se os *inputs* pelos *outputs*. Na fronteira invertida a DMU mais eficiente é aquela que conseguir ter um desempenho mais equilibrado. As DMUs que têm as melhores práticas na fronteira invertida são aquelas que estão mais afastadas da fronteira e, portanto, são aquelas em que o valor da função objetivo fica mais próximo de zero (MELLO *et al.*, 2005; MARIANO, 2008; LOLY, 2014).

Por último, tem-se a eficiência cruzada, que consiste na construção de uma matriz de cruzamento dos pesos obtidos pela DEA. Eles são utilizados para calcular a eficiência de todas as DMUs. Após isso obtêm-se uma média dos escores de eficiência calculados. A ideia é que a DMU mais eficiente é aquela que se mantém estável alterando-se o conjunto de pesos atribuídos pelo modelo (DOYLE; GREEN, 1994; MARIANO; SOBREIRO; REBELATTO, 2015).

2.6 Estudos relacionados a aplicação da DEA na orizicultura

A DEA tem sido muito empregada na avaliação da eficiência do agronegócio (SOWLATI, 2001; DHUNGANA; NUTHALL; NARTEA, 2004; GOMES; MANGABEIRA; MELLO, 2005; BRUNOZI JÚNIOR *et al.*, 2012; JANOVÁ; VAVRIN; HAMPEL, 2012; PEREIRA, 2014; MALETIC; PAUNOVIC; POPOVIC, 2015; DJOKOTO; GIDIGLO, 2016; BARBOSA; 2016) para análise de segmentos/atividades mais eficientes. Mesmo no âmbito da contabilidade a aplicação do modelo é bastante diversificada, existindo estudos relacionados à análise das demonstrações contábeis, modelos de avaliação de insolvência, gestão pública etc.

No contexto da orizicultura, os estudos relacionados à aplicação da análise envoltória de dados são raros na literatura nacional. Já na literatura internacional, especialmente nos países asiáticos, onde se concentra a maior parcela da produção mundial do arroz, existe uma quantidade considerável de trabalhos.

Coelli, Rahman e Thirthe (2002) utilizaram a DEA para mensurar a eficiência técnica, alocativa, de custos e de escala de 406 fazendas de arroz em Bangladesh, verificaram que as medidas de eficiência diferiram substancialmente daquelas obtidas usando medidas simples de rendimento e custo unitário. Os resultados indicam eficiência técnica média de 69,4%, eficiência alocativa média de 81,3% e eficiência de escala média de 94,9%. A ineficiência alocativa foi atribuída ao uso excessivo de mão-de-obra e fertilizantes.

Dhungana, Nuthall e Nartea (2004) analisaram uma amostra de 76 fazendas de arroz nepalesas e observaram a ocorrência de ineficiência econômica, alocativa, técnica e de escala. As variações significativas no nível de eficiência das fazendas da amostra são atribuídas às variações nas "intensidades de uso" de recursos como sementes, mão-de-obra, fertilizantes e maquinário. Por meio da regressão de Tobit identificaram que as variações também estão relacionadas aos atributos específicos da fazenda, como o nível de atitude de risco dos agricultores, o gênero, a idade, a educação e o endividamento, trabalho familiar.

Taraka, Latif e Shansudin (2010) avaliaram a eficiência técnica das fazendas de arroz da Tailândia Central. Os resultados mostraram que a eficiência técnica média foi de 51,9%, tendo variado entre 0,3% e 100,0%. Isso indica que a maioria das fazendas provavelmente funcionam em um nível mais baixo de eficiência técnica. Os achados ainda demonstraram a existência de uma relação positiva entre a eficiência da fazenda e o trabalho familiar, o serviço do oficial de extensão, o uso de sementes e o controle de pragas em arroz e insetos de ervas daninhas.

Carvalho (2012) mensurou e analisou a eficiência técnica relativa dos 133 municípios da região arrozeira do Rio Grande do Sul e das 337 lavouras de arroz irrigado do município de Mostardas. No Rio Grande do Sul verificou-se um escore de eficiência técnica pura em média de 0,83 e em Mostardas a nível de produtor de arroz apresentou-se um índice relativo médio de eficiência técnica de 0,76. O município de Uruguaiana, o maior produtor da safra, apresentou eficiência técnica na ordem 0,995.

Nguyen, Hoang e Seo (2012) examinaram a eficiência de uso dos custos e nutrientes de um conjunto de 96 fazendas de arroz na província de Gangwon, na Coreia do Sul, de 2003 a 2007. Os resultados demonstraram que melhorias na eficiência técnica resultariam em menores custos de produção e melhor desempenho ambiental. Por outro lado, os autores concluíram que não é fácil para as fazendas se deslocarem de sua operação atual para a operação ambientalmente eficiente, em média, esse movimento aumenta os custos de produção em 119%. Para as fazendas tecnicamente eficientes, há um *trade-off* entre custo e eficiência ambiental.

Dao e Lewis (2013) estimaram a eficiência técnica de 423 fazendas da região norte do Vietnã. Os resultados do estudo indicaram a importância da diversificação das culturas, as fazendas que favorecem os produtos orientados para o mercado, como as culturas industriais, tiveram maior eficiência que as fazendas que se concentram em culturas básicas, como arroz e milho. Os resultados também sugerem que a eficiência técnica é diretamente proporcional com o tamanho da fazenda e com a renda fora da fazenda, e inversamente com a extensão da fragmentação da terra e o uso do trabalho familiar.

Nargis e Lee (2013) mensuraram a eficiência técnica, alocativa, econômica e de escala de 199 fazendas de arroz em Boro, parte norte central de Bangladesh no ano de 2010. Os resultados revelaram que, em média, as eficiências técnicas, alocativas, econômicas e de escala das fazendas foram de 0,93, 0,82, 0,69 e 0,90, respectivamente. A regressão de Tobit mostrou que a variação do escore de eficiência está relacionada a atributos específicos da fazenda, tais como educação, tamanho da família, tipo de semente, arrendamento da terra, serviços de extensão, tipo de máquina de irrigação e fontes de energia. As evidências sugerem que os produtores de Bangladesh não conseguem explorar todo o potencial da tecnologia e que os usos dos insumos podem ser reduzidos por meio da adaptação e disseminação da mecanização agrícola melhorada.

Watkins *et al.* (2013) calcularam as eficiências técnica, alocativa e econômica de 137 fazendas de arroz do Arkansas, inscritas no Programa de Verificação e Pesquisa do Arroz (PRVP) da Universidade de Arkansas. Os resultados indicaram que os campos inscritos no

PRVP obtêm alta eficiência técnica com pontuação média e mediana de 0,90 e 1,00, respectivamente. Os escores de eficiência técnica observados no estudo se revelaram superiores aos observados na maioria dos estudos de produção de arroz em países em desenvolvimento.

Watto e Muger (2014) investigaram a eficiência na produção e irrigação de 80 produtores de arroz da Província de Punjab no Paquistão. Os resultados empíricos da eficiência técnica indicam que, em média, os produtores de arroz operam em níveis razoavelmente altos de eficiência. As estimativas de custo e eficiência de alocação indicam que os produtores de arroz não estão utilizando quantidades ótimas de insumos, dados os respectivos preços.

Alvim, Stulp e Kayser (2015) analisaram a eficiência técnica no uso dos recursos nas lavouras de arroz do Rio Grande do Sul, utilizando dados de 8.693 lavouras de arroz irrigado, comparando como os fatores de produção são transformados em produtos. Os resultados apontaram que o maior número de lavouras eficientes situa-se na região da Planície Costeira Externa à Lagoa dos Patos. Em termos percentuais, a região da Fronteira Oeste (9,04%), Planície Costeira Externa à Lagoa dos Patos (8,96%) e Zona Sul (6,22%) apresentam as maiores proporções de lavouras eficientes em comparação à média do estado. De uma forma geral as lavouras de arroz apresentam um elevado percentual de ineficiência em termos locais, mostrando que existe a possibilidade de aumentar a eficiência a partir do melhor uso dos recursos disponíveis para a produção de arroz.

Tun e Kang (2015) utilizou a análise de eficiência para compreender as condições da produção de arroz em Myanmar. Os resultados demonstraram que as ferramentas agrícolas mecânicas melhoraram significativamente a eficiência da produção de arroz de Myanmar. Os resultados estimados a partir da abordagem não paramétrica indicam que os agricultores ineficientes podem melhorar o uso dos fatores de produção para alcançar os produtores eficientes.

García Suárez (2016) buscou compreender quais as práticas leva uma fazenda produtora de arroz à fronteira de eficiência. Foram analisados dados de 573 fazendas de arroz de 26 produtores de arroz do Uruguai. Os resultados demonstraram que o manejo da nutrição das culturas tem um efeito na produtividade dos fatores. Rendimentos mais elevados geralmente são alcançados por meio do uso de entradas que é proporcionalmente maior que o aumento na produção. Na busca do melhor resultado técnico e econômico, há decisões de gerenciamento que nem sempre têm um custo maior, mas que acabam influenciando o resultado.

Os trabalhos relacionados abordam a análise da eficiência na cultura do arroz no Brasil e no mundo. Percebe-se que a metodologia DEA é bastante utilizada para mensurar a eficiência na orizicultura em estudos de países asiáticos. Frequentemente a análise de eficiência é associada a modelos de regressão, especialmente a Tobit para identificação de fatores determinantes da obtenção de eficiência.

Em geral são utilizados *inputs* e *output* semelhantes, se não iguais, a depender da medida de eficiência utilizada. Assim os estudos que objetivaram apenas verificar eficiência técnica adotam medidas quantitativas de insumos e produtos. Já os estudos que também objetivaram analisar a eficiência alocativa e de custos/econômica fizeram o uso associados de insumos e seus preços.

Nestes trabalhos ainda se percebe a baixa aplicação da modelagem DEA na orizicultura brasileira. Apesar de existirem diversos trabalhos que abordam a produção do arroz no Brasil, a análise da relação entre a eficiência (técnica, alocativa e de custos) das regiões produtoras e os custos dos fatores de produção ainda não foi abordada.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa científica é uma atividade movida pela necessidade humana de buscar respostas para questionamentos que surgem das interações do homem consigo mesmo, com seus pares e com a natureza. Para o conhecimento gerado por esta busca ser considerado científico, ele precisa estar amparado por uma investigação metódica e sistemática da realidade. Isto é o que justifica a utilização de estratégias, métodos e técnicas para estruturar o procedimento metodológico, pois ainda que estes não garantam o sucesso da pesquisa científica, é condição para diferenciá-la do senso comum e demais formas de obtenção de conhecimento (GIL, 1999; KERLINGER, 1980; MARTINS; THEÓPHILO, 2007).

Nesta seção são apresentados os aspectos metodológicos, adotados para sistematizar a interação entre o problema, a literatura existente e os resultados obtidos na presente pesquisa, como demonstra a Figura 11.

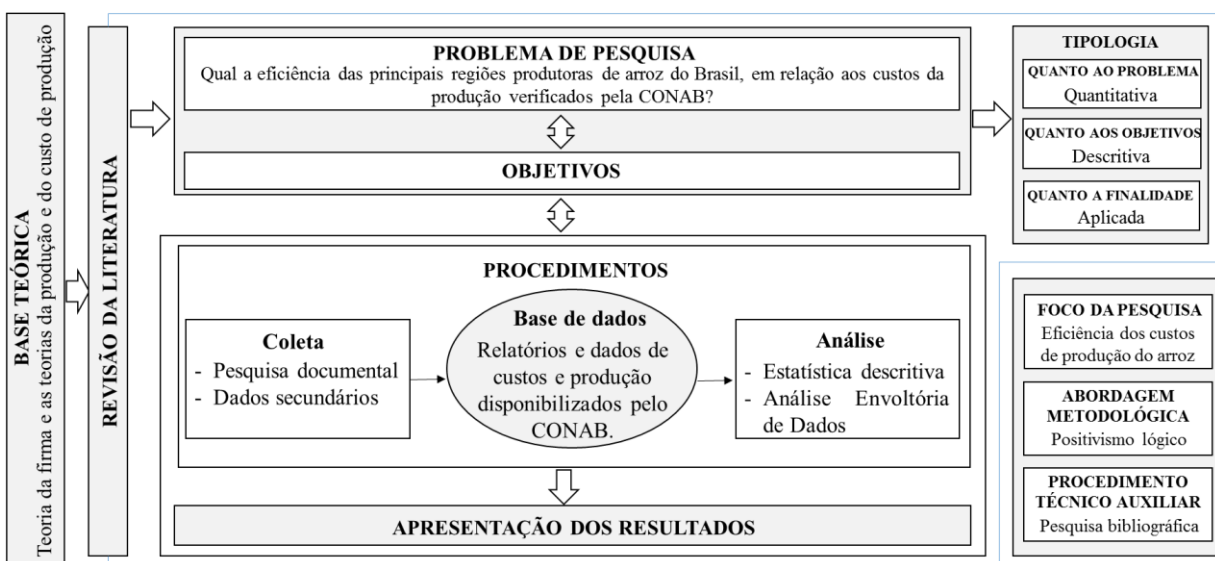


Figura 11. Desenho da pesquisa

Fonte: Elaboração própria

Busca-se, evidenciar a classificação tipológica, caracterizar a fonte, a amostra, a coleta de dados e a seleção das variáveis da pesquisa, e por fim, apresentar os procedimentos utilizados para tratamento e análise dos dados.

3.1 Classificação tipológica da pesquisa

Quanto à abordagem do problema, a presente pesquisa se classifica como quantitativa, uma vez que utiliza procedimentos estatísticos no tratamento e análise dos dados. Com o

emprego de instrumentos estatísticos e matemáticos, busca-se garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados (MARTINS; THEÓPHILO, 2007). Nesta pesquisa, são utilizadas variáveis quantitativas e empregada a Análise Envoltória de Dados, como instrumento matemático, para mensurar e classificar a eficiência das principais regiões produtoras de arroz no Brasil.

Considerando os objetivos, esta pesquisa classifica-se como descritiva, tendo interesse em coletar, medir, relatar e comparar as características inerentes ao objeto de estudo. Neste tipo de pesquisa, o objeto de estudo é observado, registrado, analisado e interpretado sem a interferência do pesquisador (ANDRADE, 2007). Assim sendo, a pretensão de analisar e descrever a eficiência da orizicultura, em relação aos custos de produção de regiões brasileiras, adequa-se a esta tipologia.

Em termos práticos, ao afirmar que o foco da pesquisa é a análise da eficiência na produção do arroz, considerando os elementos de custos a ela associados, assume-se também que a pesquisa busca gerar conhecimento para resolver um problema específico, neste caso identificar possibilidades de otimização dos elementos de custos de produção do arroz. Desta forma, esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, uma vez que é motivada pela resolução de um problema concreto (VERGARA, 2000).

Dada a estruturação da pesquisa, quanto à abordagem metodológica, ela assume características próprias do positivismo lógico, concebido por Martins e Theóphilo (2007, p. 41) como polo metodológico que “não aceita outra realidade que não seja a dos fatos que podem ser observados, rejeita a compreensão subjetiva dos fenômenos”.

Considerando os meios utilizados na investigação, são duas as tipologias assumidas pela pesquisa: bibliográfica e documental. A pesquisa bibliográfica é utilizada como procedimento técnico auxiliar, pois é por meio dela que os conhecimentos existentes sobre o tema em livros, artigos científicos, artigos técnicos, dissertações e teses, entre outras publicações, são analisados e inseridos na estrutura lógico-conceitual do trabalho (LAKATOS; MARCONI, 2010). A pesquisa bibliográfica é uma fase inicial, econômica e necessária, uma vez que fornece conhecimento acumulado por outras pessoas que estudaram sobre o assunto (MATTAR, 1996). Assim, foram pesquisadas publicações relacionadas com a orizicultura, seus custos de produção e com a aplicação da análise envoltória de dados.

A pesquisa documental consiste em utilizar materiais que não passaram por tratamento analítico, ou que mesmo já tendo sido sistematizados comportem outras interpretações (GIL, 2007). Vergara (2000, p. 46) ensina que “a investigação documental é a realizada em documentos conservados no interior de órgãos públicos e privados (...)”. Nesta pesquisa,

adota-se como base de análise os custos de produção associados ao cultivo de arroz, para os quais existem diversas análises e tratamentos por órgãos governamentais e não governamentais, especialmente publicações técnicas da própria Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), fonte dos dados utilizados aqui. No entanto, a utilização do processo analítico aqui proposto pode ampliar o prisma interpretativo destes dados, e conseqüentemente gerar novos conhecimentos.

Nesse sentido, são utilizados nesta pesquisa dados secundários relativos a informações de custos de produção do arroz, sistematizados pela CONAB. Para Malhotra (2006), não há problema na utilização de dados secundários, desde que a base de dados seja confiável.

3.2 Modelagem da análise de eficiência na DEA

A mensuração das medidas de eficiência por meio da DEA pode ser visualizada ou organizada em etapas. Cada uma das etapas assume duas funções: dar confiabilidade e consistência ao modelo e às análises de eficiência derivadas dele. A Figura 12 apresenta as etapas de estruturação de uma análise de eficiência via DEA.

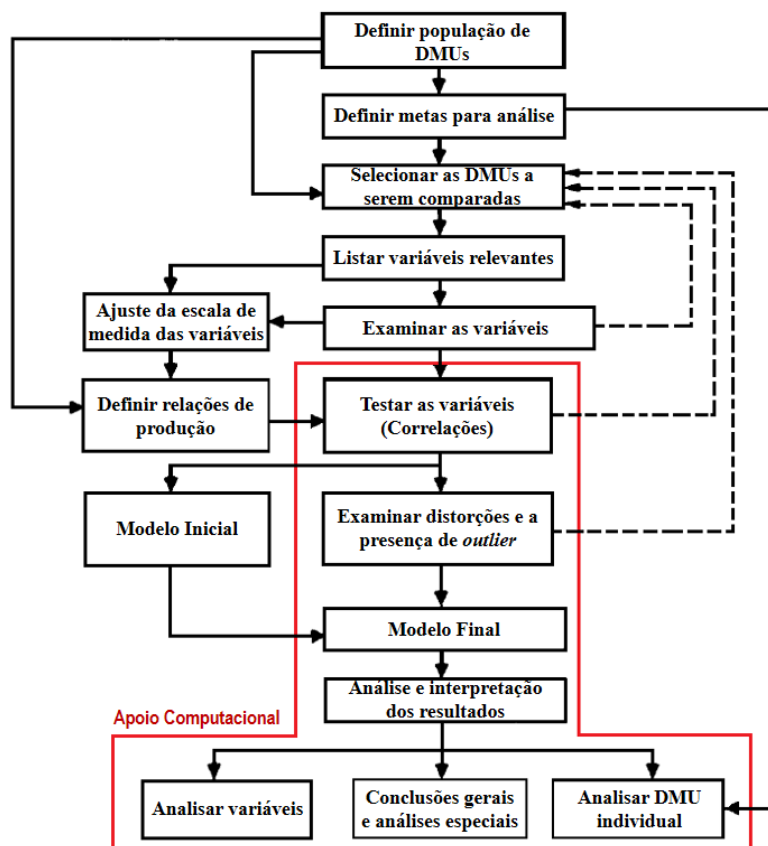


Figura 12. Diagrama do fluxo de aplicação da DEA

Fonte: Adaptado de Golany e Roll (1989)

Para sistematizar cada uma das etapas de aplicação da DEA, neste trabalho, tomou-se como parâmetro, as observações e orientações contidas nos estudos de Golany e Roll (1989), Kassai (2002), Mello *et al.* (2005), Mariano (2008) e Stahlschmidt Neto (2016). Nos tópicos a seguir são apresentados os procedimentos e decisões tomadas em cada uma delas.

3.2.1 Definição da população e seleção da amostra de DMUs

Um dos pressupostos da DEA é que as unidades para as quais se busca mensurar a eficiência sejam comparáveis, a literatura afirma que o conjunto de DMUs deve ser homogêneo. Para definir se um conjunto de DMUs é homogêneo, avalia-se três aspectos: (1) as unidades realizam as mesmas atividades e possuem objetivos semelhantes?; (2) as unidades operam dentro de condições ambientais semelhantes?; (3) as variáveis que caracterizam o desempenho das unidades são as mesmas, alterando-se apenas volume e quantidade de insumos e produtos? (GOLANY; ROLL, 1989; BOWLIN, 1998; DYSON *et al.*, 2001; MELLO *et al.*, 2005; CHEBIL *et al.*, 2016).

Isto posto, levantou-se inicialmente que todas os Estados brasileiros são produtores de arroz. No entanto, a maior parte da produção concentra-se nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Tocantins, Mato Grosso, Maranhão e Pará que, segundo os dados da Produção Agrícola Municipal do IBGE, responderam em quantidade produzida, nas safras entre 2011/2012 e 2016/2017, em média, por 68,4%, 9,1%, 4,9%, 4,4% 3,7 e 1,6% da produção nacional, respectivamente.

Contudo, como estabelecido na problematização da pesquisa, o enfoque proposto aqui é uma avaliação de medidas de eficiência a partir de variáveis de custo de produção de arroz. Observou-se que considerando diversas variáveis (clima, solo, sistema de cultivo, condições do mercado e logística etc.) a CONAB faz levantamento de custos de regiões produtoras pertencentes a apenas quatro estados brasileiros: Roraima (RR), Maranhão (MA), Mato Grosso (MT) e Rio Grande do Sul (RS). Juntos, nas safras 2012/13 a 2016/17, eles responderam, em média, por cerca de 77,2% da produção e 70,6% da área plantada de arroz no Brasil.

Dada a limitação da base de dados de custos, apenas as regiões produtoras de arroz dos estados mencionados foram consideradas como população de DMUs para esta pesquisa. Elas atendem aos critérios para serem consideradas homogêneas, pois todas são produtoras de arroz, utilizam as variáveis para mensuração do desempenho idênticas, e operam dentro de condições de ambiente semelhantes.

As regiões produtoras de arroz com informação de custos disponível são organizadas em dois sistemas de cultivo: irrigado e sequeiro. O sistema de cultivo de arroz sequeiro tem como representantes as regiões de Balsas (MA) e de Sorriso (MT). O sistema de cultivo de arroz irrigado, é representado por regiões do estado do Rio Grande do Sul, sendo elas: Uruguaiana, Cachoeira do Sul, Pelotas e Santo Antônio da Patrulha; e região de Boa Vista em Roraima. No entanto, as regiões de Boa Vista (RR) e Santo Antônio da Patrulha (RS) tiveram que ser excluídas da análise pois possuem dados de custo apenas a partir da safra 2015/16, enquanto o período definido para análise compreende seis safras, 2011/12 a 2016/17. Assim, a amostra desta pesquisa é formada por cinco regiões produtoras: Balsas, Sorriso, Uruguaiana, Cachoeira do Sul e Pelotas.

Destaca-se que apesar de Santa Catarina e Tocantins serem, respectivamente, o segundo e o terceiro estado em termos de participação na produção de arroz do Brasil, não há levantamento de custos de produção realizados pela CONAB, motivo pelo qual nenhuma região dos estados entraram para a população/amostra da pesquisa. Pode-se afirmar que na seleção da amostra, adotou-se a amostragem não probabilística, uma vez que os critérios utilizados foram a disponibilidade e a acessibilidade dos dados de custos de produção necessários para a mensuração de medidas de eficiência.

Outro aspecto relevante é a delimitação do período utilizado para a análise. Há recomendações na literatura de que o período de tempo não seja demasiadamente longo, pois isso pode tornar obscuras importantes alterações ocorridas em seu interior. A DEA também pressupõe que as DMUs utilizam a mesma tecnologia, sendo longo o período assume-se o risco de incluir em um mesmo grupo de unidades comparáveis, DMUs com tecnologias muito distintas (GOLANY; ROLL, 1989).

Quando se trabalha com um período de análise composto por vários anos, é possível considerar a firma em cada ano como se fosse unidades distintas (KASSAI, 2002). Nesta pesquisa, a análise compreende o período de 2011 a 2017, que corresponde às safras 2011/12, 2012/13, 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17. No Quadro 2 são apresentadas as regiões produtoras de arroz selecionadas como amostra, com informações de safra e sistema de cultivo.

Quadro 2 - Amostra das regiões produtoras de arroz, por sistema, plantio e safras

	Região	Sistema	Plantio	Safras
1	Balsas - MA	Sequeiro	Convencional	2011/12 até 2016/17
2	Sorriso - MT	Sequeiro	Direto	2011/12
			Convencional	2012/13 e 2013/14
			Direto	2014/15 até 2016/17
3	Cachoeira do Sul - RS	Irrigado	Convencional	2011/12 até 2013/14
			Cultivo Mínimo	2014/15 e 2016/17
4	Uruguaiana - RS	Irrigado	Semidireto	2011/12 até 2013/14
			Cultivo Mínimo	2014/15 e 2016/17
5	Pelotas - RS	Irrigado	Semidireto	2011/12 e 2012/13
			Cultivo Mínimo	2013/14 até 2016/17

Fonte: Elaboração própria, conforme dados da CONAB.

Conforme apresentado no Quadro 3, a amostra da pesquisa é formada 30 DMUs, sendo que cada região produtora de arroz e sua respectiva safra foi considerada uma DMU. Trabalhando neste formato, foi possível identificar simultaneamente a região e a safra mais eficiente. Neste sentido, Cesaro *et al.* (2009) afirmam que usando séries temporais, é possível obter informações sobre mudanças no desempenho e eficiência da DMU ao longo do tempo, para ter algumas indicações sobre o impacto de diferentes políticas ou esquemas de suporte, etc.

Quadro 3 - Detalhamento das DMUs objeto da pesquisa

DMU	Região	Safra
BS1	Balsas - MA	2011/12
BS2	Balsas - MA	2012/13
BS3	Balsas - MA	2013/14
BS4	Balsas - MA	2014/15
BS5	Balsas - MA	2015/16
BS6	Balsas - MA	2016/17
CS1	Cachoeira do Sul - RS	2011/12
CS2	Cachoeira do Sul - RS	2012/13
CS3	Cachoeira do Sul - RS	2013/14
CS4	Cachoeira do Sul - RS	2014/15
CS5	Cachoeira do Sul - RS	2015/16
CS6	Cachoeira do Sul - RS	2016/17
PE1	Pelotas - RS	2011/12
PE2	Pelotas - RS	2012/13
PE3	Pelotas - RS	2013/14
PE4	Pelotas - RS	2014/15
PE5	Pelotas - RS	2015/16
PE6	Pelotas - RS	2016/17
SR1	Sorriso - MT	2011/12
SR2	Sorriso - MT	2012/13
SR3	Sorriso - MT	2013/14
SR4	Sorriso - MT	2014/15
SR5	Sorriso - MT	2015/16
SR6	Sorriso - MT	2016/17
UR1	Uruguaiana - RS	2011/12
UR2	Uruguaiana - RS	2012/13
UR3	Uruguaiana - RS	2013/14
UR4	Uruguaiana - RS	2014/15
UR5	Uruguaiana - RS	2015/16
UR6	Uruguaiana - RS	2016/17

Fonte: Elaboração própria.

A coleta de dados referente aos custos de produção do arroz ocorreu exclusivamente na base disponibilizada no sitio da CONAB⁹. A CONAB organiza séries históricas dos custos de produção do arroz sequeiro, desde 2001, e irrigado, desde 2002. Os dados relativos aos pacotes tecnológicos^{10,11} utilizados em cada região produtora e o conjunto de municípios que as compõem foram obtidos por meio de solicitação feita à Gerência de Custos de Produção da CONAB. Utilizaram-se os dados relativos à produtividade (kg/ha) do IBGE.

3.2.2 Identificação, exame e seleção das variáveis (insumos/produtos) e definição da relação de produção

A seleção das variáveis de insumos e produtos é um momento crucial da definição do modelo, pois a precisão e a adequação das variáveis é que garante a confiabilidade dos resultados e a sua aderência aos objetivos do estudo (MARTIN, 2006; MONTONERI, *et al.*, 2012). Num primeiro momento, a relação das variáveis que possam influenciar o desempenho da DMU deve: ser tão ampla quanto for possível; e permitir conhecer detalhes do conjunto de DMUs a serem analisadas (GOLANY; ROLL, 1989; KASSAI, 2002).

Destaca-se que por mais que a DEA exija que o conjunto de DMUs seja homogêneo, ela também requer a identificação de diferença entre as unidades. Uma relação maior de variáveis auxilia na identificação das diferenças existentes entre as DMUs. Contudo, como esclarecem Senra *et al.* (2007), sendo a amostra de DMUs pequena, como é o caso deste estudo, um número elevado de variáveis não tem sentido nos modelos clássicos de DEA, pois aumenta o risco de todas as DMUs alcançarem eficiência máxima, as tornando bastante especializadas (DYSON *et al.*, 2001).

Nesse sentido, após identificar todas as variáveis relacionadas com o desempenho da DMU, deve-se chegar a um conjunto reduzido que inclua apenas as variáveis de insumo e produto mais relevantes, ou seja, capazes de distinguir as DMUs avaliadas e atender aos objetivos da análise (GOLANY; ROLL, 1989). Preliminarmente, três técnicas de seleção de

⁹ Para consultar os dados, acessar o endereço: <http://www.conab.gov.br>, clicar em Produtos e Serviços e selecionar Custos de Produção.

¹⁰ Trata-se de informações básicas da combinação de insumos, serviço e de máquinas e implementos utilizados no processo produtivo, indicando-se a quantidade de cada elemento em unidade de área (hectare), volume e massa (quilogramas ou litro); horas e em dia de trabalho. Os pacotes tecnológicos, em regra, são atualizados de três em três anos. Contudo, existe uma consulta anual e obrigatória aos responsáveis pela geração dos dados, e verificadas alterações substanciais o pacote tecnológico é revisado. (CONAB, 2006).

¹¹ Raineri, Rojas e Gameiro (2015) esclarecem que se conhecendo a distribuição do uso do trabalho e insumos é possível atualizar o custo monetário através do tempo, sendo necessário que a tecnologia de produção se mantenha constante. Assim, ainda que a periodicidade da atualização seja de três em três anos, as análises dos custos relacionados são possíveis.

variáveis podem ser adotadas: (1) análise qualitativa dos dados; (2) estatísticas básicas; e (3) julgamento fundamentado.

- 1) Análise qualitativa dos dados: além da disponibilidade de dados (variáveis de insumo e produto) corretamente medidos, ainda é preciso identificar o tipo de dados, dados faltantes, valores negativos ou zerados etc. Enquanto o tipo dos dados (discreto, contínuo etc.) e a presença de valores negativos podem interferir na escolha do modelo DEA ou demandar a necessidade de ajuste/transformação de escalas, os dados ausentes e/ou valores zeros podem inviabilizar a aplicação da DEA, pois os algoritmos são sensíveis a valores zerados. Assim, deve-se analisar com cuidado as variáveis nas quais diversas DMUs apresentem valores zerados/ausentes, elas são fortes candidatas a serem excluídas do modelo (GOLANY; ROLL, 1989; THOMPSON; DHARMAPAL; THRALL, 1993; EMROUZNEJAD; WITTE, 2010).
- 2) Estatística básica: a literatura DEA propõe diversos modelos estatísticos para seleção de variáveis, um deles é a análise de correlação. Ela permite estudar o relacionamento das variáveis sob dois enfoques. O primeiro é a causalidade, no qual se avalia o comportamento de uma variável em relação a outra. O segundo é a redundância, pela qual se identifica variáveis com comportamento próximo que explicam um mesmo aspecto do desempenho. Por conseguinte, a verificação do relacionamento das variáveis, sob estes dois enfoques, possibilita as seguintes decisões: alta correlação entre dois insumos ou produtos demonstra redundância, pois indica que ambos explicam a mesma coisa; coeficientes de correlação muito baixos entre insumos e produtos indica que o(s) insumo(s) não é uma variável explicativa e não mantém relação funcional, podendo ser eliminado (SOWLATI, 2001; KASSAI, 2002; MARIANO, 2008).
- 3) Julgamento fundamentado: outra forma de selecionar variáveis relevantes para uma aplicação DEA é por meio de opinião especializada, que pode originar-se de experiências profissionais e especialistas ou basear-se em variáveis utilizadas em estudos anteriores (GOLANY; ROLL, 1989; KASSAI, 2002).

Adicionalmente, ainda é necessário observar algumas regras acerca da quantidade de DMUs e a quantidade de variáveis nos modelos DEA: Banker *et al.* (1989) dizem que o ideal é que o número de DMUs seja maior que três vezes a soma dos *inputs* e *outputs*; Dyson *et al.* (2001), por outro lado, entendem que a quantidade de DMUs (n) deve ser maior ou igual a duas vezes o produto entre a quantidade de variáveis de insumos (m) e a de produtos (s),

representado pela notação: $n = 2ms$; já Montoneri *et al.* (2012) sugerem que o número de DMUs deve ser de duas ou até quatro vezes o número de variáveis.

Neste trabalho, as relações de produção que regem as DMUs são representadas na Figura 13. As entradas são variáveis de custo medidas em unidade monetária (R\$) / insumos produtivos. A saída é a produtividade parcial de cada região da amostra (kg/ha).



Figura 13. Relação de produção de uma DMU

Considerando que os dados de custos de produção estão em bases monetárias levantadas em períodos distintos de tempo, todos os valores foram corrigidos a valores correntes de março/2016. Para tanto adotou-se o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI), calculado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV).

Em se tratando de *inputs* a lista preliminar de variáveis que explicam o desempenho das regiões produtoras de arroz no Brasil são as que constam no Quadro 1, do tópico sobre contabilidade e custos de produção (2.3). Seguindo a orientação da literatura, inicialmente foram analisados os aspectos qualitativos dos dados. Já nesta etapa, as variáveis de custo OPANI, ALANI, RECTA, SEGRE e ARREN foram excluídas do conjunto de possibilidade de *inputs* uma vez que apresentaram valores zerados durante todo o período de análise para todas as DMUs. Verificou-se ainda, que as variáveis de custo OPAVI, IRRI, ALMAQ, AGUA, OUTSER e SEGPRO apresentaram valores zerados para mais de 10 dentre as 30 DMUs avaliadas, e por esse motivo também foram excluídas do conjunto de possibilidades de *inputs*.

Ainda assim, sobraram 20 variáveis de custo no conjunto de possibilidades de *inputs*. Então, calculou-se o coeficiente de Correlação de Pearson¹² (Apêndice A) das variáveis restantes, a verificação da existência de coeficiente de correlação forte ($>0,70$) entre duas variáveis de custo provocou a exclusão de uma delas, adotando-se como critérios: a variável

¹² Montoneri *et al.* (2012) explicam que em geral um coeficiente de Pearson igual ou superior a 0,8 representa uma correlação muito alta; entre 0,6 e 0,8 representa alta correlação; entre 0,4 e 0,6 representa correlação moderada; entre 0,2 e 0,4 representa uma baixa correlação; e coeficiente inferior a 0,2 representa a correlação extremamente baixa ou não existente.

que representasse o maior número de variáveis de custos e a opinião especializada contida em estudos afins. Em tese as variáveis altamente correlacionadas explicam o desempenho das DMUs de forma similar, nesta verificação foram excluídas as variáveis de custos MDOTP, TREXT, DESPAD, DESPAR, CESSR/CDO, JUROS, DPIMP, DPMAQ, ENCSO, SEGCF e REMCF. Comparou-se também os coeficientes de correlação das variáveis de custo (*inputs*) em relação ao *output* selecionado, para verificar se alguma delas apresentaram correlação negativa, condição que fere o pressuposto da DEA de que um aumento em qualquer entrada deve resultar em algum aumento, e não diminuição, na saída (BOWLIN, 1998), por esse critério foram excluídas as variáveis de custo DPBFT e MANPBI.

Após a análise de correlação restaram 7 *inputs*, então buscou-se nos estudos afins trabalhos que já haviam utilizado as variáveis restantes e observou-se que o custo com TERP não foi utilizado por nenhum dos estudos acessados, e como na metodologia da CONAB este elemento é uma expectativa de rendimento da terra própria destinada a cultura, optou-se por excluí-lo. O Quadro 4 apresenta detalhadamente os estudos afins que fundamentam empiricamente cada uma das variáveis selecionadas para compor o modelo inicial.

Quadro 4 - Relação de *inputs* e o *output* e os estudos afins

Variáveis		Estudos Relacionados
Inputs	Operação com máquinas	Dao e Lewis (2013); Watkins et al. (2013); Watto e Mugerá (2014).
	Mão-de-obra fixa	Coelli, Rahman e Thirthe (2002); Dhungana, Nuthall e Nartea (2004); Carvalho (2012); Nguyen, Hoang e Seo (2012); Nargis e Lee (2013); Watto e Mugerá (2014); Tun e Kang (2015).
	Sementes	Coelli, Rahman e Thirthe (2002); Dhungana, Nuthall e Nartea (2004); Takata, Latif e Shansudin (2010); Dao e Lewis (2013); Nargis e Lee (2013); Watkins et al. (2013); Watto e Mugerá (2014).
	Fertilizantes	Coelli, Rahman e Thirthe (2002); Dhungana, Nuthall e Nartea (2004); Takata, Latif e Shansudin (2010); Carvalho (2012); Nguyen, Hoang e Seo (2012); Dao e Lewis (2013); Nargis e Lee (2013); Watkins et al. (2013); Watto e Mugerá (2014); García Suárez (2016).
	Agrotóxicos	Dhungana, Nuthall e Nartea (2004); Takata, Latif e Shansudin (2010); Dao e Lewis (2013); Nargis e Lee (2013); Watkins et al. (2013); Watto e Mugerá (2014).
	Assistência Técnica	Watto e Mugerá (2014).
Output	Arroz (Qtde/ha)	Dhungana, Nuthall e Nartea (2004); Takata, Latif e Shansudin (2010); Watto e Mugerá (2014); Tun e Kang (2015).

Fonte: Elaboração do autor.

Destaca-se, que as variáveis de custos selecionadas como *inputs* para o modelo inicial representam adequadamente os custos de produção do arroz no Brasil. Um estudo desenvolvido pela CONAB (2016a) revelou a maior participação dos gastos com fertilizantes, operação com máquinas, agrotóxicos e sementes nos custos de produção, estando estes elementos no modelo. Por fim, considerando que Watto e Mugerá (2014) destacaram que aspectos relacionados à experiência agrícola e a serviços de extensão e associação de organizações agrícolas são relacionados à ineficiência técnica de fazendas produtoras de arroz, na literatura especializada dos países asiáticos, a inserção do custo com ASTEC no modelo é justificável, entendendo que este custo se relaciona com os aspectos anunciados.

Desta forma, foram selecionados seis *inputs* e apenas um *output* para compor o modelo inicial da DEA. O Quadro 5 discrimina as variáveis com suas respectivas unidades de medida, sigla e classificação.

Quadro 5 - Classificação dos *inputs* e do *output*

Discriminação	Unidade	Sigla	Classificação
Operação com máquinas	R\$/ha h/máq.	OPMAQ	<i>Input 1</i>
Mão-de-obra fixa	R\$/ha	MDOFX	<i>Input 2</i>
Sementes	R\$/ha kg	SEMS	<i>Input 3</i>
Fertilizantes	R\$/ha kg	FERTS	<i>Input 4</i>
Agrotóxicos	R\$/ha litros	AGRTX	<i>Input 5</i>
Assistência Técnica	R\$/ha	ASTEC	<i>Input 6</i>
Produtividade	Kg/ha	ARROZ	<i>Output</i>

Fonte: Elaboração do autor.

A variável OPMAQ considera os custos das máquinas e os implementos utilizados na execução de operações em diversas fases do processo produtivo (correção e preparo do solo, plantio, trato cultural, colheita e pós-colheita). A MDOFX representa o custo do emprego da força de trabalho humano. SEMS é a variável de custo das matérias utilizadas no plantio e semeadura da cultura. FERTS são custos com substâncias fornecedoras de um ou mais nutrientes que concorrem para o aumento da produtividade do cultivo. O AGRTX representa custos com produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, cuja função é alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-la da ação nociva ao cultivo. E, por fim, ASTEC representa o gasto com assistência técnica e extensão rural, constituindo um serviço de educação de caráter continuado que promove processos de gestão e produção (CONAB, 2010).

A variável quantidade produzida (ARROZ), o *output*. Para as variáveis OPMAQ, SEMS, FERTS e AGRTX além da informação de custo também se utilizou a quantidade consumida de cada variável, dado necessário para o cálculo da eficiência alocativa e de custos.

Por fim, segundo Chen e Chen (2009), um dos requisitos do modelo DEA é que os *inputs* sejam positivamente correlacionados com os *outputs*. Bo (2005), Montoneri *et al.* (2012) e Wang *et al.* (2016) indicam a Análise de Correlação de Pearson para fazer a análise de adequação da relação de produção definida. A Tabela 3 apresenta os resultados do coeficiente de correlação entre os *inputs* e *outputs* do modelo.

Tabela 3 - Coeficiente de correlação entre os *inputs* e o *output*

	<i>OPMAQ</i>	<i>MODFX</i>	<i>SEMS</i>	<i>FERTS</i>	<i>AGRTX</i>	<i>ASTECH</i>
ARROZ	0,797	0,388	0,334	0,173	0,588	0,793

Fonte: Elaboração do autor.

Considerando o resultado existe correlação positiva entre todas as variáveis de custos classificadas como *inputs* e o *output*, sendo uma aplicação adequada para o modelo DEA.

3.2.3 Estruturação do modelo de aplicação da DEA

Definido o modelo funcional após as etapas de seleção das DMUs e das variáveis (*inputs/output*) que representam amplamente os recursos utilizados, os resultados produzidos estabelecem a função de produção das unidades comparadas (Figura 14), chega-se a etapa de estruturação das abordagens da DEA mais adequadas para responder ao problema de pesquisa.



Figura 14. Estrutura funcional da DEA

A DEA basicamente fornece escores de eficiência atribuindo pesos às entradas e saídas heterogêneas (EMROUZNEJAD; WITTE, 2010), no entanto existem uma extensa gama de possibilidades e técnicas para fazer isso que por vezes chegam a resultados distintos.

Assim, nesta etapa é especificado o modelo selecionado de acordo com a extensão do problema de pesquisa.

Dada a natureza descritiva deste trabalho, optou-se por iniciar a análise das medidas de eficiência pelo modelo CCR, pois segundo Golany e Roll (1989) ele é um modelo que apresenta as diferenças entre as DMUs de forma mais crítica. Com esta escolha também é possível averiguar, antes de aprofundar nas análises, a consistência e a confiabilidade do modelo funcional definido para medir o desempenho das DMUs do estudo (Figura 14). Para essa avaliação utiliza-se a técnica da análise de super-eficiência (ANDERSEN; PETERSEN, 1993) para verificar a existência de ruídos e/ou *outliers* que possam comprometer a análise empreendida.

Adicionalmente os escores de eficiência técnica são calculados utilizando-se o modelo BCC, que se mostrou mais ajustado à avaliação de sistemas produtivos, uma vez que pressupõe que o aumento de uma entrada não, necessariamente, provocará um aumento equiproporcional nas saídas. Para Badin (1997), o modelo BCC permite a visualização de cada DMU ineficiente sobre a superfície da fronteira, que é determinada pelas DMUs eficientes, por isso é utilizado quando se objetiva *benchmarking*. Também são calculados os escores de eficiência de escala, para averiguar se as ineficiências técnicas são devidas a aspectos do processo de produção ou ao tamanho de escala de produção.

Outra definição relevante para a estruturação da DEA, é a orientação do modelo. Ela pode dar enfoque à minimização das entradas ou à maximização das saídas. Neste trabalho, a orientação às entradas mostra-se mais adequada, pois a capacidade gerencial dos tomadores de decisão das regiões produtoras de arroz recai diretamente sobre os recursos consumidos no processo produtivo. A saída, no caso das DMUs deste estudo (produção de arroz), sofre influência de condições ambientais que não estão sob o controle dos tomadores de decisão (BO, 2005).

Enrouznejad e Witte (2010) entendem que é interessante interpretar os resultados finais de uma aplicação da DEA sob diferentes especificações de modelo, pois isso permite a caracterização detalhada das unidades avaliadas. E no caso de uma DMU ter baixos escores de eficiência em diferentes especificações, fica difícil argumentar que a classificação decorre do modelo adotado. Nesse sentido, além da eficiência técnica e de escala, também foram avaliadas as eficiências alocativa e de custo de cada DMU.

Somado a isso, ponderou-se também as considerações de Golany e Roll (1989) sobre a utilidade de se apresentar mais de um conjunto de resultados derivados de diferentes seleções de DMUs para a aplicação da DEA. Neste trabalho fez-se exatamente o sugerido pelos

autores, as DMUs foram divididas por categorias (sistema de cultivo e sistema de plantio) e os resultados das medidas de eficiência foram reanalisadas. Com isso, buscou-se isolar em subgrupos os conjuntos de DMUs mais homogêneos e avaliar os efeitos do reagrupamento nas medidas de eficiência.

Por fim, ainda é apresentado a análise cruzada de eficiência, uma extensão da DEA que permite estabelecer um *ranking* dos escores de eficiência das DMUs.

Em síntese, os componentes dos resultados apresentados e discutidos são:

1. Escores das medidas de eficiência: técnica, de escala, alocativa e de custos;
2. Metas, *benchmarkings* e potencial de melhoria dos custos de produção;
3. Índice de importância de referência;
4. Análise dos escores de eficiência por categorias de análise;
5. *Ranking* das DMUs mais eficientes.

3.2.4 Apoio computacional: *software* especializado

Um elemento essencial no desenvolvimento da aplicação de um modelo de DEA é a ferramenta computacional. Existem diversos *softwares* especializados (DEA-SEAD, *DEA-Solver*, EMQ, EMS, *Frontier Analyst*, *OnFront*, SIAD, PIM-DEAsoft e outros) no cálculo da eficiência (KASSAI, 2002; SENRA *et al.*, 2007) tendo ampla utilização comercial. Assim, após a estruturação do modelo, é preciso definir o *software* que tenha capacidade de rodar as análises necessárias à consecução dos objetivos do estudo.

Neste trabalho optou-se por utilizar o PIM-DEAsoft 3.2, da PIM *Limited* como *software* principal para os cálculos necessários ao desenvolvimento do trabalho, e de forma subsidiária o *Frontier Analyst* 4.3, da *Banxia Software*. A escolha por estes *softwares* se justifica pela facilidade de interface de suas plataformas, bem como pela confiabilidade dos resultados já atestada na literatura (ILIYASU, 2015).

Adicionalmente, utilizou-se o MS Excel e o software estatístico BioEstat 5.0 para realização dos cálculos de medidas de estatísticas descritivas e tabulação de tabelas e gráficos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados empíricos da pesquisa. Assim, inicia-se com a discussão de dados de produção e custos da orizicultura nas regiões selecionadas como amostra da pesquisa, apresenta-se a estatística descritiva das variáveis (*inputs* e *output*) do modelo DEA, e então são expostas as medidas de eficiências, as interpretações e análises delas decorrentes.

4.1 A produção e os custos da orizicultura nas regiões selecionadas

A amostra desta pesquisa é formada por cinco regiões produtoras de arroz pertencentes a três estados brasileiros: Maranhão, Mato Grosso e Rio Grande do Sul. Elas são assim classificadas pela CONAB no levantamento de custos de produção. Desta forma, a lista de municípios utilizada para agregar os dados relacionados a produção de arroz a cada uma das regiões foi informada pela Gerência de Custos de Produção da CONAB.

A Tabela 4 apresenta os dados das áreas plantada e colhida e produção de cada uma das regiões que compõem a amostra desta pesquisa. Observa-se que em quatro das regiões selecionadas (Balsas, Cachoeira do Sul, Pelotas e Uruguaiiana) houveram quedas nas áreas plantada, colhida e na produção de arroz, seguindo o movimento observado a nível Brasil.

Tabela 4 - Área plantada, área colhida e produção de arroz por região produtora

Região	Medida*	Ano/Safra						Δ% Média
		2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	
Balsas (MA)	Área Plantada	23.268	20.063	18.799	18.178	16.526	12.099	-8,00
	Área Colhida	23.268	20.063	18.799	18.178	16.526	11.113	-8,71
	Produção	38.247	25.852	27.998	31.905	29.812	7.748	-13,29
Cachoeira do Sul (RS)	Área Plantada	147.061	130.151	131.345	133.098	132.361	124.061	-2,61
	Área Colhida	146.861	128.138	130.250	133.098	131.422	120.030	-3,04
	Produção	1.072.177	908.747	956.944	893.790	939.423	790.596	-4,38
Pelotas (RS)	Área Plantada	221.553	197.797	203.569	210.415	212.421	208.701	-0,97
	Área Colhida	221.403	196.547	203.569	210.415	212.421	207.206	-1,07
	Produção	1.771.893	1.414.289	1.559.348	1.590.162	1.782.434	1.596.192	-1,65
Sorriso (MT)	Área Plantada	30.446	16.520	21.566	23.540	27.310	34.372	2,15
	Área Colhida	30.446	16.520	21.566	23.540	27.310	34.372	2,15
	Produção	103.372	56.786	70.491	81.864	94.356	115.102	1,89
Uruguaiiana (RS)	Área Plantada	468.239	399.411	437.913	452.332	457.067	437.051	-1,11
	Área Colhida	468.004	399.252	437.223	451.732	452.051	419.474	-1,73
	Produção	3.863.529	3.169.350	3.352.423	3.516.404	3.697.287	3.053.077	-3,50
Brasil (BR)	Área Plantada	2.855.312	2.443.182	2.386.821	2.347.460	2.162.178	2.004.643	-4,97
	Área Colhida	2.752.891	2.413.288	2.353.152	2.340.878	2.138.397	1.943.938	-4,90
	Produção	13.476.994	11.549.881	11.782.549	12.175.602	12.301.201	10.622.189	-3,53

Fonte: Dados da pesquisa.

*As unidades utilizadas são hectare (ha) para áreas plantada e colhidas e toneladas para produção (t).

Contudo, enquanto a redução da produção brasileira foi inferior às reduções das áreas plantada e colhida no país, indicando significativo aumento de produtividade, naquelas quatro regiões a queda na produção foi superior às quedas de áreas plantadas e colhida. É preciso destacar que pela análise das oscilações safra-a-safra não é possível identificar uma tendência, pois em alguns anos mesmo com áreas plantadas e colhidas menores, algumas regiões conseguiram aumentar a produção. Em outros anos há variação positiva ou manutenção das áreas plantadas e colhidas sem que se tenha aumento de produção, tendo as vezes redução.

A única região produtora para a qual houve crescimento das áreas plantada e colhida e da produção foi Sorriso (MT), mesmo assim esse crescimento é explicado pelos dados da safra 2016/17, pois nas quatro anteriores as áreas e a produção foram inferiores à safra 2011/12. A maior queda de produção ocorreu em Balsas (MA) entre as safras 2015/16 e 2016/17. A Figura 15 demonstra o comportamento da produtividade de cada região avaliada nas safras 2011/12 a 2016/17, a linha vermelha representa a média do Brasil no período. A análise da produtividade é importante, pois se trata de uma medida de desempenho comparável das regiões produtoras.

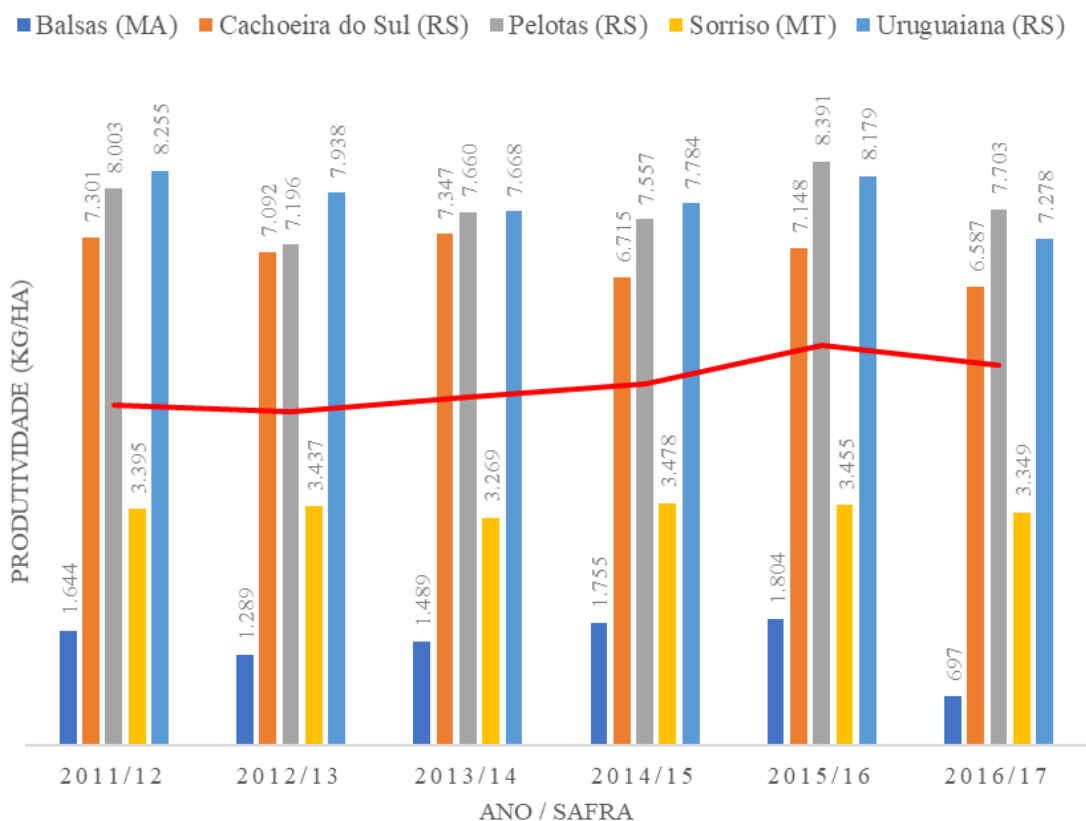


Figura 15. Produtividade do arroz em Balsas, Sorriso, Cachoeira do Sul, Uruguaiana e Pelotas para as safras 2011/12 a 2016/17

Fonte: Dados da pesquisa.

As regiões de Balsas e Pelotas alcançaram suas melhores produtividades na safra 2015/16, mesmo com áreas plantadas e colhidas inferiores às da safra do início da série, apresentam desempenho elevado. Em regra, a produtividade também oscila safra-a-safra, tanto que na safra 2016/17 houve queda da produtividade em todas as regiões, se comparada a safra imediatamente anterior, a redução mais abrupta foi em Balsas, cuja produtividade da última safra da série não chegou a 50% da produtividade média verificada nas outras cinco safras.

Observa-se ainda que a produtividade média do arroz brasileiro (representada pela linha vermelha) segue o movimento das regiões selecionadas. Sendo estas regiões responsáveis por parcela significativa do arroz brasileiro e estando inseridas nos principais estados produtores, a presença delas na amostra da pesquisa é suficiente para compreender parcela importante do cenário nacional. Dentre as regiões analisadas, apenas Balsas e Sorriso apresentaram produtividade inferior à média nacional.

Pela estrutura de levantamento de custos adotada na metodologia da CONAB, os componentes do custeio da orizicultura são: Custo Variável, Custo Fixo e o Custo Total. Os custos variáveis são agrupados em custeio da lavoura (insumos, mecanização, mão-de-obra e outros), outras despesas (logística, armazenagem, seguros, assistência técnica, tributos e outros) e despesas financeiras, enquanto os custos fixos envolvem as despesas de depreciação (de máquinas, implementos e outros) e outros custos (manutenção de benfeitorias, instalações e outros) e a renda dos fatores (remuneração do capital fixo e terra própria).

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios de cada grupo de custo e sua participação no Custo Total para cada uma das regiões produtoras. Calculou-se ainda a variação média ou taxa de crescimento de cada grupo de custos no período, utilizando-se a Equação 6:

$$\Delta_{Média} = \frac{\left(\frac{C_f}{C_i}\right) - 1}{n} \quad (6)$$

Em que:

C_f : representa o custo de cada grupo na última safra (2016/17).

C_i : representa o custo de cada grupo na primeira safra (2011/12).

n : é a quantidade de safras.

Analisando a Tabela 5, observa-se o comportamento dos grupos de custos em cada região produtora. Pelotas apresentou o maior custo total (R\$6.099,15) entre as regiões e também dentro do Estado do Rio Grande do Sul, quando comparada à Cachoeira do Sul e

Uruguaiana. A menor média do custo total foi a de Balsas, cerca de 35% do custo total médio verificado em Pelotas.

Tabela 5 - Custos de produção*, por hectare, nas safras 2011/12 a 2016/17

Regiões	Descrição	Custo Variável (CV)			Custo Fixo (CF)			Custo Total (CT)
		Custeio da Lavoura	Outras Despesas	Despesas Financeiras	Despesas de Depreciação	Outros Custos	Renda de Fatores	
Balsas (MA)	Média	1.214,94	173,78	77,34	237,86	94,95	307,78	2.106,64
	Part. no CT (%)	57,7	8,2	3,7	11,3	4,5	14,6	100,0
	Var. Média (%)	1,3	-1,8	-12,1	5,9	17,4	1,3	0,9
Cachoeira do Sul (RS)	Média	3.528,82	797,90	134,13	425,66	147,67	680,07	5.714,24
	Part. no CT (%)	61,8	14,0	2,3	7,4	2,6	11,9	100,0
	Var. Média (%)	8,7	3,0	10,3	0,2	-4,4	2,5	5,8
Pelotas (RS)	Média	3.911,69	898,60	196,50	358,03	110,98	623,36	6.099,15
	Part. no CT (%)	64,1	14,7	3,2	5,9	1,8	10,2	100,0
	Var. Média (%)	5,1	5,6	-2,4	-0,5	-9,7	-1,6	3,2
Sorriso (MT)	Média	1.795,98	347,07	80,61	382,39	29,83	481,91	3.117,79
	Part. no CT (%)	57,6	11,1	2,6	12,3	1,0	15,5	100,0
	Var. Média (%)	4,8	2,3	-2,9	37,3	-9,3	-2,9	4,8
Uruguaiana (RS)	Média	3.660,12	841,38	146,56	319,38	74,30	659,86	5.701,60
	Part. no CT (%)	64,2	14,8	2,6	5,6	1,3	11,6	100,0
	Var. Média (%)	8,0	5,6	3,2	5,2	-8,2	6,1	6,7

Fonte: Dados da pesquisa.

* Os custos estão a preços correntes de março/2017, corrigidos pelo IGP-DI (FGV).

Os custos relacionados diretamente à lavoura tiveram participação superior a 57% do custo total em todas as regiões. Nas regiões de Balsas e Sorriso, os custos relacionados à renda de fatores também apresentaram participação representativa no custo total, respectivamente, 14,6% e 15,5%. Já nas regiões de Cachoeira do Sul, Uruguaiana e Pelotas o segundo grupo de custos mais expressivo foi o de outras despesas, que teve participação maior que 14% no custo total nas três regiões.

Em relação à variação média dos grupos de custos no período, verifica-se que em todas as regiões o custo total apresentou variação positiva, sendo as maiores taxas de crescimento observadas nas regiões de Cachoeira do Sul e Uruguaiana, respectivamente, 5,8% e 6,7%. Essas regiões, juntamente com Pelotas, foram as que apresentaram as maiores taxas de crescimento de custeio com a lavoura.

As despesas financeiras e os outros custos apresentaram variação negativa em três ou mais regiões, o que demonstra que os gastos com os elementos de custos relacionados a esses grupos caíram no período analisado. Contudo a participação deles no custo total é pouco expressiva, de forma que os crescimentos verificados em outros grupos de custos determinaram o movimento de crescimento do custo total.

Por fim, apesar das particularidades de cada região produtora em relação à participação de cada grupo de custos no custo total de produção, verifica-se que os custos

variáveis relacionados diretamente com o custeio da lavoura são os mais significativos para a gestão dos custos de produção, uma vez que correspondem a mais de 57% do custo total. Entre os elementos de custos classificados no grupo custeio da lavoura, a CONAB (2016) destaca que os custos que apresentam maior participação no custo total são os fertilizantes, operações com máquinas, agrotóxicos e as sementes. Com base nos dados desagregados, observou-se que tais elementos de custos respondem por mais de 45% dos custos variáveis em cada região no período estudado. Em Balsas e Sorriso representam em média 79% dos custos variáveis, enquanto que nas regiões de Cachoeira do Sul, Pelotas e Uruguaiana a participação nos custos variáveis oscilou entre 45% e 53%.

Ainda, analisando os custos de produção, verificou-se que a participação comparada de cada grupo de custos por sistema de cultivo (Figura 16): irrigado (representado por Cachoeira do Sul, Pelotas e Uruguaiana) e sequeiro (representado por Balsas e Sorriso), nas safras de 2011/12 a 2016/17.

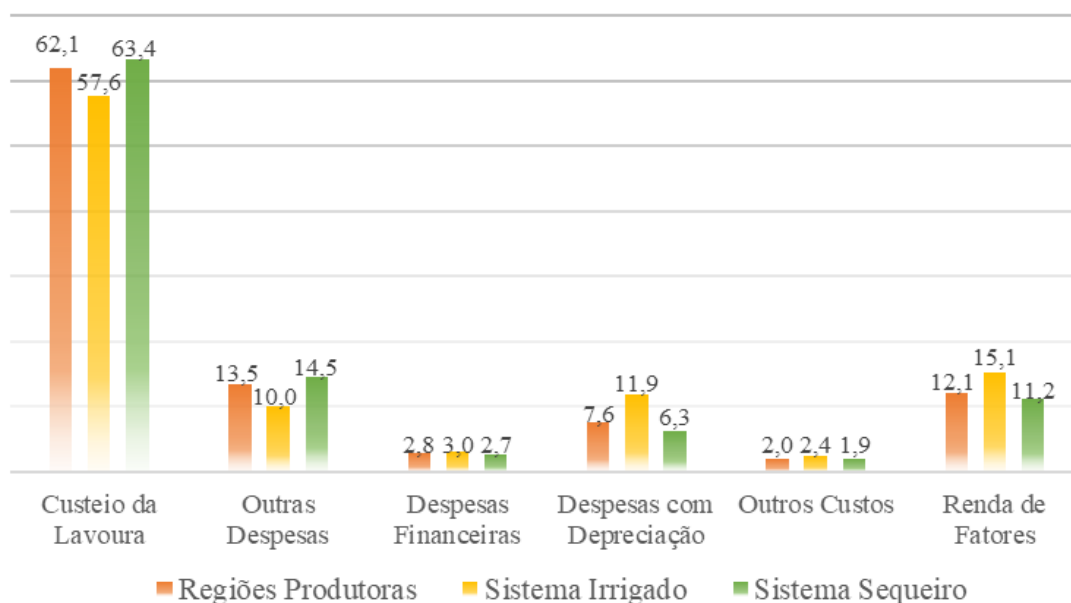


Figura 16. Participação (%) dos grupos de custos no Custo Total, por sistema de cultivo

Fonte: Dados da Pesquisa.

Observa-se que as participações do custeio da lavoura e de outras despesas no custo total foram maiores nas regiões que adotam o sistema de cultivo sequeiro. Enquanto que as despesas com depreciação e renda de fatores tiveram participações maiores no custo total das regiões que adotam o sistema de cultivo irrigado.

4.2 Análise descritiva das variáveis de entrada e saída da função de produção

A análise dos componentes dos custos de produção do arroz para cada região produtora foi apresentada no tópico anterior, com intuito de demonstrar o comportamento dos custos nas regiões analisadas. Como discriminado nos aspectos metodológicos, para a estruturação do modelo de análise de eficiência, foram selecionados seis elementos do custo de produção do arroz (OPMAQ, MDOFX, SEMS, FERTS, AGRTX e ASTEC) para funcionarem como variáveis de entrada (*inputs*), e a produtividade de arroz (ARROZ) sendo variável de saída (*output*). Na Tabela 6 faz-se uma análise descritiva individualizada destas variáveis, com o objetivo de apresentar o comportamento de cada uma. É preciso esclarecer que as estatísticas descritivas de cada variável (Mínimo, Máximo, Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação) são calculadas com base em todas as observações do período analisado.

Tabela 6 - Estatística descritiva das variáveis de custos por região – safras 2011/12 a 2016/17

Variável	Sigla	Regiões	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Coeficiente Variação
Operação com máquinas (R\$/ha)	OPMAQ	Balsas	214,18	312,35	259,63	39,07	15,05
		Sorriso	99,68	202,04	157,03	48,11	30,64
		Cachoeira do Sul	798,17	1190,74	992,30	153,08	15,43
		Uruguaiiana	557,23	1155,81	849,60	260,43	30,65
		Pelotas	816,88	1085,71	900,08	107,49	11,94
Mão-de-obra fixa (R\$/ha)	MDOFX	Balsas	4,44	131,45	47,92	60,38	126,02
		Sorriso	9,24	52,35	29,91	21,41	71,57
		Cachoeira do Sul	52,35	234,70	116,51	68,71	58,98
		Uruguaiiana	42,93	91,12	68,57	21,72	31,67
		Pelotas	62,35	131,45	11,84	29,01	244,95
Sementes (R\$/ha)	SEMS	Balsas	140,14	169,73	153,60	10,53	6,86
		Sorriso	208,17	300,45	251,84	43,33	17,21
		Cachoeira do Sul	198,55	247,94	222,10	17,02	7,66
		Uruguaiiana	157,39	257,24	215,04	38,28	17,80
		Pelotas	171,85	271,65	213,23	37,17	17,43
Fertilizantes (R\$/ha)	FERTS	Balsas	534,08	654,54	606,36	47,63	7,86
		Sorriso	690,98	999,87	840,75	105,31	12,53
		Cachoeira do Sul	537,22	891,37	702,08	130,32	18,56
		Uruguaiiana	598,45	834,86	759,23	84,77	11,17
		Pelotas	508,15	1279,38	704,20	114,96	16,32
Agrotóxicos (R\$/ha)	AGRTX	Balsas	94,93	178,10	142,61	33,65	23,59
		Sorriso	364,52	696,28	513,65	123,51	24,04
		Cachoeira do Sul	287,21	1214,32	627,40	445,73	71,04
		Uruguaiiana	521,83	982,79	693,89	208,53	30,05
		Pelotas	387,61	814,95	588,54	191,83	32,59
Assistência Técnica (R\$/ha)	ASTEC	Balsas	16,99	23,73	20,28	1,14	5,63
		Sorriso	28,88	44,20	35,92	5,16	14,36
		Cachoeira do Sul	54,97	87,47	70,50	13,14	18,63
		Uruguaiiana	58,97	93,68	73,12	14,90	20,38
		Pelotas	63,48	91,88	75,60	11,31	14,96

Fonte: Dados da pesquisa.

Dentre as variáveis de custo selecionadas, FERTS, OPMAQ, AGRTX e SEMS foram as que apresentaram os maiores custos no período, o que era esperado, uma vez que o estudo desenvolvido pela CONAB (2016a) já havia observado a relevância destes itens dentro da estrutura de custos da orizicultura. A variável OPMAQ foi a que apresentou as maiores médias nas regiões do Rio Grande do Sul, contudo foi menos expressiva nas regiões do Maranhão e Mato Grosso. FERTS foi o elemento de custo com maior média geral entre as regiões, variando entre R\$ 606,36 (Balsas) e R\$ 840,75 (Sorriso). Observa-se que mesmo existindo expressiva variação entre os custos observados em cada região, principalmente os custos das regiões de Balsas e Sorriso (Tabela 5), a variável FERTS foi a que apresentou valores mais homogêneos.

As variáveis MODFX e ASTEC apresentaram os menores custos entre as variáveis selecionadas. Nas regiões de Pelotas, Balsas, Sorriso, os coeficientes de variação da MODFX foram, respectivamente, 244,95%, 126,02% e 71,57%, ou seja, as maiores variações em relação à média verificadas. Os custos relacionados à assistência técnica (ASTEC) foram mais homogêneos nas regiões de Cachoeira do Sul, Uruguaiiana e Pelotas, o que pode estar relacionado com o fato das três regiões pertencerem a um mesmo Estado, e assim, compartilharem as mesmas condições de acesso a serviços de assistência técnica e extensão rural.

Tabela 7 - Estatística descritiva da variável produtividade por região – safras 2011/12 a 2016/17

Variável	Sigla	Regiões	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Coefficiente Variação
Produtividade (Kg/ha)	ARROZ	Balsas	697,0	1804,0	1446,3	412,4	28,5
		Sorriso	3269,0	3478,0	3397,2	77,7	2,3
		Cachoeira do Sul	6587,0	7347,0	7031,7	312,1	4,4
		Uruguaiiana	7278,0	8255,0	7850,3	359,1	4,6
		Pelotas	7196,0	8391,0	7751,7	407,3	5,3

Fonte: Dados da pesquisa.

Ainda na Tabela 7, observa-se que a variável ARROZ, que corresponde a produtividade das regiões selecionadas, tratada no tópico anterior (4.1), possui um coeficiente de variação relativamente baixo, à exceção de Balsas cujo coeficiente foi de 28,5% afetado fortemente pelo resultado da safra 2016/17, cuja produção por hectare foi de 697 kg/ha, a menor verificada nas observações. Os valores máximos verificados para as regiões de Balsas (1.804 kg/ha) e Sorriso (3.478 kg/ha) são bem inferior aos valores mínimos obtidos para as regiões de Cachoeira do Sul (6.587 kg/ha), Uruguaiiana (7.278 kg/ha) e Pelotas (7.196 kg/ha). A região de Pelotas foi a que apresentou a maior quantidade de arroz por hectare (8.391

kg/ha). As regiões que apresentaram os menores custos totais de produção, Balsas e Sorriso, também foram as que obtiveram os menores volumes de produção de arroz por hectare (kg/ha).

Por fim, a Tabela 8 apresenta a estatística resumida das variáveis OPMAQ, SEMS, FERTS e AGRTX, medidas em quantidades físicas (h, kg e l) para cada hectare de área plantada.

Tabela 8 - Estatística descritiva do consumo de insumos – safras 2011/12 a 2016/17

Insumos	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
OPMAQ	h/máq.	2,8	18,4	9,0	5,7	63,33
SEMS	kg	65,0	150,0	96,7	20,6	21,30
FERTS	kg	400,0	4.500,0	1.591,3	1611,9	101,29
AGRTX	litros	0,0	24,7	11,5	6,8	59,13

Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se que a maior dispersão dos dados é encontrada na variável FERTS. O consumo de fertilizantes é elevado em Balsas e Sorriso, onde a média chega a 3.225 kg. Já nas regiões de Cachoeira do Sul, Pelotas e Uruguaiiana o consumo de fertilizantes fica na faixa de 400 a 550kg. Por outro lado, a variável OPMAQ é mais expressiva nessas regiões (8 a 18,4 h/máq.), enquanto que em Balsas e Sorriso não passa de 3,5 h/máq. O consumo de sementes varia entre 65kg a 150kg, sendo o consumo máximo verificado em Uruguaiiana, apenas na safra 2011/12. Por fim, o consumo de agrotóxicos é similar, à exceção de Balsas, em todas as demais regiões, e os maiores consumos são os de Uruguaiiana e Pelotas.

4.3 Avaliação geral

O modelo de avaliação proposta neste trabalho, assume que as regiões produtoras de arroz no Brasil, para as quais existam levantamento de custos, atendem aos critérios para serem estudadas em conjuntos, as análises derivadas desta avaliação são apresentadas nos tópicos que seguem.

4.3.1 Análise das medidas de super-eficiência, eficiência técnica, *benchmarks* e potenciais de melhoria nos custos de produção (*inputs*)

Como disposto nos aspectos metodológicos, uma das questões que devem ser verificadas antes de considerar um modelo de aplicação DEA como adequado, é a existência de *outliers*, pois caso existam é preciso avaliar se de fato eles revelam uma prática

diferenciada de uma DMU ou se decorre de ruídos e inconsistências da base de dados. Neste trabalho, antes da implementação das análises, optou-se por utilizar o modelo DEA CCR, orientado a entrada, na dimensão super-eficiência, para verificar a presença de *outliers*. Os resultados são apresentados na Tabela 9.

Observa-se a concentração de escores de super-eficiência na quinta classe (99,3 – 117,2) da distribuição de frequência, quase 47% da amostra de DMUs estão nesta classe. Verifica-se também que 90,0% das DMUs possuem escores de super-eficiência entre 28,0 e 117,2. Apenas 6 DMUs (20,0% da amostra) obtiveram escores inferiores a 81,5. Assim, as DMUs não apresentaram resultados muito discrepantes, o que evidencia a ausência de *outliers*.

Tabela 9 - Distribuição de frequência dos escores de super-eficiência: CCR-*inputs*/geral

	Classes			X_i	f_i	$fr_i(\%)$	F_i	$Fr_i ac(\%)$
1	28,0	—	45,8	36,9	1	3,3	1	3,3
2	45,8	—	63,7	54,8	1	3,3	2	6,7
3	63,7	—	81,5	72,6	4	13,3	6	20,0
4	81,5	—	99,3	90,4	7	23,3	13	43,3
5	99,3	—	117,2	108,3	14	46,7	27	90,0
6	117,2	—	135,0	126,1	3	10,0	30	100,0

Fonte: Dados da pesquisa.

Isto posto, as medidas de eficiência do modelo proposto pelo trabalho, podem ser processadas com segurança e confiabilidade. Inicia-se pela análise da eficiência técnica dos custos na produção do arroz, buscando-se resolver duas questões fundamentais: (i) Dado um nível de custos, das principais regiões produtoras de arroz do país, o produto obtido (quantidade produzida) revela eficiência dos insumos consumidos?; (ii) Em termos comparativos é possível minimização dos *inputs*? Os resultados apresentados na Tabela 10 detalham o nível de eficiência técnica (CCR e BCC, orientados aos *inputs*), a eficiência e o retorno de escala de cada DMU.

No modelo CCR, 17 das 30 DMUs foram consideradas eficientes, com escore médio de 0,914. No modelo BCC o número de DMUs eficientes subiu para 24 com escore médio de 0,978. As DMUs da região Sorriso foram todas classificadas como eficientes, analisando sob este critério ela pode ser considerada a região mais eficiente. No modelo BCC todas as DMUs de Sorriso e Uruguaiana foram eficientes, enquanto Pelotas e Cachoeira do Sul foram, respectivamente, ineficientes em 2 e 3 das seis safras avaliadas de forma alternada. Dentre as regiões de Balsas, Cachoeira do Sul e Pelotas, com ocorrência de DMUs ineficientes, todas foram ineficientes na safra 2016/17.

Observa-se que no modelo BCC as principais alterações de eficiência são verificadas para as DMUs de Balsas. Enquanto no modelo CCR havia apenas uma DMU eficiente, no modelo BCC cinco DMUs são assim classificadas. Isso é derivado do fato de que no modelo BCC, a eficiência técnica de uma DMU é medida em relação a uma fronteira de eficiência com o mesmo tamanho de escala. Por este modelo, observando as três primeiras safras da série avaliada, verifica-se que somente Pelotas (2012/13) não foi considerada eficiente.

Tabela 10 - Eficiência técnica, eficiência e retorno de escala, avaliação geral

DMU	Eficiência Técnica (ET)			Eficiência de escala (EE)	Retorno de Escala	Maior problema	
	RCE* CCR	RVE** BCC	RNCE***				
BS1	Balsas 2011/12	0,779	1,000	0,779	0,779	Crescente	Escala
BS2	Balsas 2012/13	0,584	1,000	0,584	0,584	Crescente	Escala
BS3	Balsas 2013/14	0,927	1,000	0,927	0,927	Crescente	Escala
BS4	Balsas 2014/15	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
BS5	Balsas 2015/16	0,714	1,000	0,714	0,714	Crescente	Escala
BS6	Balsas 2016/17	0,288	0,923	0,288	0,312	Crescente	Escala e Eficiência
CS1	Cachoeira do Sul 2011/12	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
CS2	Cachoeira do Sul 2012/13	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
CS3	Cachoeira do Sul 2013/14	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
CS4	Cachoeira do Sul 2014/15	0,854	0,926	0,854	0,923	Crescente	Escala e Eficiência
CS5	Cachoeira do Sul 2015/16	0,707	0,752	0,707	0,941	Crescente	Escala e Eficiência
CS6	Cachoeira do Sul 2016/17	0,703	0,790	0,703	0,890	Crescente	Escala e Eficiência
PE1	Pelotas 2011/12	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
PE2	Pelotas 2012/13	0,956	0,981	0,956	0,974	Crescente	Escala e Eficiência
PE3	Pelotas 2013/14	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
PE4	Pelotas 2014/15	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
PE5	Pelotas 2015/16	0,963	1,000	1,000	0,963	Decrescente	Escala
PE6	Pelotas 2016/17	0,972	0,972	0,972	1,000	Constante	Eficiência
SR1	Sorriso 2011/12	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
SR2	Sorriso 2012/13	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
SR3	Sorriso 2013/14	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
SR4	Sorriso 2014/15	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
SR5	Sorriso 2015/16	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
SR6	Sorriso 2016/17	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
UR1	Urugaiana 2011/12	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
UR2	Urugaiana 2012/13	0,985	1,000	1,000	0,985	Decrescente	Escala
UR3	Urugaiana 2013/14	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
UR4	Urugaiana 2014/15	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
UR5	Urugaiana 2015/16	0,977	1,000	1,000	0,977	Decrescente	Escala e Eficiência
UR6	Urugaiana 2016/17	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há
Média		0,914	0,978	0,916	0,932		
Nº de DMUs eficientes		17	24	20	12		

Fonte: Dados da pesquisa.

*RCE = Retorno Constante de Escala. **RVE = Retorno Variável de Escala. ***RNCE = Retorno não Crescente de Escala.

Ainda na Tabela 10, verifica-se que os menores escores de eficiência obtidos em todo o período foram, para o modelo CCR, nas safras de 2015/16 e 2016/17, para o BS5, BS6, CS5 e CS6 (entre 0,288 e 0,714), ou seja, para que as DMUs com escore de 0,71 cheguem ao nível de eficiência precisam reduzir os custos de produção em mais de 29%, caso não tenham folga

nas entradas. No modelo BCC, os menores escores foram também em Cachoeira do Sul (CS5 e CS6), contudo eles foram de 0,752 e 0,790, respectivamente.

Segundo a CEPEA (2016) o excesso de chuvas e a baixa luminosidade atrasaram o plantio do arroz na safra 2015/16, prejudicando a produção e a produtividade do produto no Rio Grande do Sul. Assim, os resultados obtidos para CS5, PE5 e UR5, pelo modelo CCR, e para CS5, pelo modelo BCC, podem estar relacionados a estes acontecimentos. Isso indicaria maior sensibilidade do CCR em captar oscilações de ambiente.

A média dos escores de eficiência técnica (BCC) obtida nesta pesquisa é bastante distinto dos achados das pesquisas desenvolvidas por Coelli, Rahman e Thirthe (2002), Takata, Latif e Shansudin (2010) e Carvalho (2012), que mostrou-se mais elevada. Dentre os trabalhos listados, apenas o de Carvalho (2012) foi desenvolvido no Brasil tendo como objeto regiões e fazendas arroseiras do Rio Grande do Sul, observa-se congruência dos resultados desta pesquisa com os achados do autor para o município de Uruguaiana no que diz respeito a ET, lá encontrou-se um escore médio de 0,995, aqui de 1,000 para a região representada por Uruguaiana.

Um dos componentes da eficiência produtiva, como também é conhecida a eficiência técnica, é a eficiência de escala que está associada às variações da produtividade decorrentes de mudanças na escala de operação. Com o intuito de verificar o efeito da escala de produção na eficiência técnica, mensurou-se a eficiência de escala por meio da razão entre as medidas de eficiência técnica com retornos constantes e as medidas com retornos variáveis ($EE = ET_{CCR} / ET_{BCC}$). Uma DMU é ineficiente em escala quando a medida da eficiência com retornos constantes difere da medida com retornos variáveis (NOGUEIRA, 2005).

A média do escore de eficiência de escala obtida nesta pesquisa é compatível com as encontradas nos estudos de Coelli, Rahman e Thirthe (2002) e Nargis e Lee (2013) sendo superior a 0,90 e inferior a 0,95.

Adicionalmente, calculou-se a eficiência técnica por meio do modelo de retorno não-crescente de escala (RNCE) com intuito de utilizá-lo como um teste adicional para determinar o retorno de escala, constante, crescente ou decrescente das DMUs (MALANA; MALANO, 2006). Para tanto: (i) se $ET_{RNCE} = ET_{RVE} \neq ET_{RCE}$, então a DMU está produzindo em retorno decrescente de escala; (ii) se $ET_{RNCE} \neq ET_{RVE} = ET_{RCE}$, então a DMU está produzindo em retorno crescente de escala; e (iii) se $ET_{RNCE} = ET_{RVE} = ET_{RCE}$, então a DMU está produzindo em retorno constante de escala (CESARO *et al.*, 2009).

Das 30 DMUs analisadas, 18 apresentaram escores de eficiência técnica iguais nos modelos CCR e BCC, sendo assim são eficientes em escala. Destaca-se que apesar de ser

classificada como ineficiente em ambos os modelos, PE6 é eficiente em escala. Em se tratando de retorno de escala, as DMUs PE5, UR2 e UR5 apresentaram retornos decrescentes, isso indica o aumento do nível de entrada destas DMUs resultará em um aumento menor que proporcional na saída. Dentre as DMUs ineficientes tecnicamente (BCC) e em escala (BS6, CS4, CS5, CS6 e PE2) apresentaram retornos crescentes à escala, o que indica a possibilidade de aumento no produto a custos médios, decrescentes de insumos.

Ainda na Tabela 9, foram apresentados os problemas (escala, eficiência ou ambos) para o conjunto de DMUs ineficientes. O problema de escala foi atribuído às DMUs que apresentaram escores de eficiência técnica pura (BCC) igual a 1 (um) e de eficiência de escala menor que 1 (um). O problema de eficiência foi atribuído às DMUs que apresentaram escores de eficiência técnica (CCR) menor que 1 (um) e de eficiência de escala igual a 1 (um). As DMUs classificadas com ambos os problemas foram as que apresentaram escores inferiores a 1 (um) tanto para eficiência técnica (CCR) quanto para a de escala (KASSAI, 2002).

As DMUs BS6, CS4, CS5, CS6, PE2 e UR5 apresentaram problema de escala e de eficiência. A ineficiência de escala indica que estas DMUs operam abaixo da escala ótima de produção. A ineficiência técnica está relacionada a não utilização correta dos insumos empregados no cultivo do arroz. Assim, se a DMU apresenta ambos os problemas, ela deve aumentar a produção de arroz e ao mesmo tempo reduzir os insumos consumidos no processo produtivo. As DMUs BS1, BS2, BS3, BS5, PE5 e UR3 apresentam apenas problema de escala, portanto, basta buscar aumentar a produção para corrigir a questão, enquanto PE6 o problema identificado é a eficiência.

4.3.2 Resultados (*benchmarks*, referência, importância, *slacks* e metas) da eficiência técnica e *ranking* das maiores eficiências

No tópico 4.3.1 ficou evidenciado que algumas das DMUs avaliadas mostraram-se ineficientes no processo de transformação de insumos em produtos. A contribuição das análises desenvolvidas aqui é no sentido de tratar a segunda questão lá suscitada: em termos comparativos é possível a minimização dos *inputs*? O foco principal aqui são as DMUs ineficientes e a compreensão dos *benchmarks*, *slacks* e alvos. No entanto, também é apresentado um *ranking* geral de eficiência de todas as DMUs.

A interpretação prática das informações de *benchmarks* e do índice de importância é a de que uma DMU ineficiente se situa próxima ao segmento da fronteira de eficiência representada pela DMU composta, formada pela multiplicação do índice de importância de

referência pelas entradas e saídas das respectivas DMUs eficientes. Quanto maior o índice de importância da referência, mais próxima é a relação da função de produção da DMU ineficiente com a da DMU *benchmark* (MALANA; MALANO, 2006).

A Tabela 11 expõe os resultados da análise de eficiência técnica, modelo BCC, e fornece informações sobre as DMUs *benchmarks* e as folgas existentes nas entradas do modelo. As DMUs *benchmarks* são as unidades utilizadas para formar a fronteira virtual de eficiência para as DMUs ineficientes. As folgas são excesso de utilização de insumos, ou baixa geração de saídas dados os níveis de entradas e saída das DMUs. A média do escore de eficiência técnica das DMUs ineficientes foi de 97,1%. Em síntese, esse resultado indica ser possível manter as mesmas saídas (produção de arroz por hectare) e ainda assim reduzir cerca de 2,9% dos recursos consumidos.

Tabela 11 - Resultados da análise de eficiência técnica, modelo BCC- *inputs*/geral

DMU	Escore de eficiência	Freq. como referência	<i>Benchmarks</i> _(IR*)	<i>Slacks para as entradas</i>					
				OPMAQ	MDOFX	SEMS	FERTS	AGRFX	ASTEC
BS1	100,00	2		0	0	0	0	0	0
BS2	100,00	3		0	0	0	0	0	0
BS3	100,00	4		0	0	0	0	0	0
BS4	100,00	2		0	0	0	0	0	0
BS5	100,00	2		0	0	0	0	0	0
BS6	92,33		BS2 _(0,05) ; BS3 _(0,79) ; BS4 _(0,01) e BS5 _(0,16)	0	0	0	34,08	10,38	0
CS1	100,00	6		0	0	0	0	0	0
CS2	100,00	1		0	0	0	0	0	0
CS3	100,00	2		0	0	0	0	0	0
CS4	92,55		BS3 _(0,14) ; CS1 _(0,38) e UR4 _(0,48)	231,6	11,08	0	0	5,46	8,38
CS5	75,17		BS3 _(0,09) ; CS1 _(0,06) ; PE4 _(0,39) ; UR1 _(0,14) e UR4 _(0,33)	0	27,16	0	0	360,61	0
CS6	78,98		BS2 _(0,15) ; CS1 _(0,34) ; PE4 _(0,12) e UR4 _(0,39)	0	27,63	0	0	496,87	6,19
PE1	100,00	1		0	0	0	0	0	0
PE2	98,12		BS1 _(0,05) ; CS1 _(0,23) ; CS3 _(0,33) , PE3 _(0,24) ; PE4 _(0,11) ; e UR1 _(0,04)	0	0	0	0	0	9,22
PE3	100,00	2		0	0	0	0	0	0
PE4	100,00	4		0	0	0	0	0	0
PE5	100,00	1		0	0	0	0	0	0
PE6	97,17		CS1 _(0,02) ; UR3 _(0,55) ; UR4 _(0,42) e UR6 _(0,02)	175,79	0	0	0	214,39	18,41
SR1	100,00	1		0	0	0	0	0	0
SR2	100,00	1		0	0	0	0	0	0
SR3	100,00	1		0	0	0	0	0	0
SR4	100,00	1		0	0	0	0	0	0
SR5	100,00	1		0	0	0	0	0	0
SR6	100,00	1		0	0	0	0	0	0
UR1	100,00	3		0	0	0	0	0	0
UR2	100,00	1		0	0	0	0	0	0
UR3	100,00	2		0	0	0	0	0	0
UR4	100,00	5		0	0	0	0	0	0
UR5	100,00	1		0	0	0	0	0	0
UR6	100,00	2		0	0	0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa.

* IR = Índice de Importância de referência.

Observa-se que, com exceção de PE6, todas as demais DMUs ineficientes apresentaram como *benchmark* pelo menos uma DMU representante à própria região, em

safras diferentes, isso indica que as regiões em algum momento conseguiram estabelecer uma relação de produção eficientes. Todas as DMUs da região de Sorriso – MT (SR1, SR2, SR3, SR4 e SR5), CS2, PE1, PE5, UR2 e UR5 só foram referência para elas mesmas, o que é um indicativo de um comportamento dos custos com características peculiares.

As DMUs CS1, UR4, BS3 e PE4 são os principais *benchmarks*, as parceiras de excelência das DMUs ineficientes com maiores frequências 6, 5, 4 e 4 vezes, respectivamente. Se adotado um critério qualitativo de desempate, elas são as DMUs mais eficientes, e ainda assim BS3 e PE4 permaneceriam empatadas. O índice de importância da referência (o *lambda*) indica a proximidade da DMU *benchmark* com a DMU ineficiente, assim quanto maior for o índice, maior a importância da DMU correspondente como referência para a DMU ineficiente. Por exemplo: BS6 se encontra mais próxima de BS3, com índice igual a 0,79.

Por fim, ainda na Tabela 11, são apresentados os *slacks* obtidos para os *inputs* do modelo. Considerando a sua orientação para as entradas, as ineficiências obtidas pelas DMUs mostram que elas não conseguem usar os insumos de forma efetiva. Os valores zerados para a entrada SEMS informa que está entrada foi utilizada adequadamente por todas as DMUs, inclusive as ineficientes. No entanto, as DMUs ineficientes devem reduzir suas entradas pelos valores indicados nos *slacks* das demais entradas para se tornarem eficientes, por exemplo: CS6 deve reduzir os custos em R\$231,60, R\$11,08, R\$5,46 e R\$8,38, respectivamente, nas variáveis OPMAQ, MDOFX, AGRTX e ASTEC.

Cavalcante e Faria (2009) esclarecem que os *benchmarks* definem o que precisa ser alterado nos *inputs* ou *outputs* para transformar DMUs ineficientes em eficientes. Isso é na verdade uma das vantagens da DEA, o modelo além de evidenciar as ineficiências também aponta o potencial de otimização dos *inputs* (no caso, orientação ao insumo) (DHUNGANA; NUTHAL; NARTEA, 2004).

Thanassoulis, Boussofiane e Dyson (1996), Gomes e Mangabeira (2004) e Yang (2006) entendem que os alvos são a principal contribuição do modelo DEA para a agricultura, pois geram informações sobre quais são as fontes de ineficiência e o que pode ser feito para se chegar à fronteira de eficiência.

Nesse sentido, na Tabela 12 são apresentados os custos atuais de cada DMU, ou seja, o custo observado individualmente por cada DMU ineficiente, os custos alvos e o percentual de redução de cada variável do modelo. O esperado é que o percentual de redução seja equivalente a distância entre o score da eficiência obtida pela DMU e a eficiência máxima (1,0). No entanto, conforme evidenciado na Tabela 10, alguns *inputs* das DMUs ineficientes

apresentaram folgas (*slacks*), com isso, para esses *inputs* os percentuais de redução necessários para que as DMUs atinjam a fronteira de eficiência são maiores, sendo o somatório das folgas com a distância da DMU em relação a fronteira.

As DMUs CS5 e CS6 apresentaram os menores escores de eficiências (Tabela 11), em média elas precisam reduzir os custos, considerando o conjunto de variáveis analisadas, em 32,9%. Na Tabela 12 o percentual de redução da variável OPMAQ mostrou-se elevado nas DMUs CS4 (26,9%) e CS5 (24,8%). Já a necessidade de redução do custo da MDOFX mostrou-se relevante para as DMUs CS5 (45,1%) e PE2 (40,9%) e a variável AGRTX para as DMUs PE2 (63,2%) e CS5 (54,5%). Ainda assim, todas as DMUs ineficientes podem alcançar a fronteira de eficiência, algumas com maior esforço na redução de custos (CS5 e CS6) outras com menor (PE6 e BS6), BS6 além de otimizar suas entradas deve também elevar sua saída em quase 120% para alcançar a eficiência.

Tabela 12 - Custos atuais e custos alvos das DMUs ineficientes, BCC - *inputs*/geral

DMU	<i>Inputs</i>	Atual (R\$/ha)	Alvo (R\$/ha)	% de Redução	DMU	<i>Inputs</i>	Atual (R\$/ha)	Alvo (R\$/ha)	% de Redução
BS6	OPMAQ	283,89	262,12	7,7	PE2	OPMAQ	1063,59	840,00	21,0
	MDOFX	13,18	12,17	7,7		MDOFX	139,20	82,31	40,9
	SEMS	169,73	156,71	7,7		SEMS	230,99	182,43	21,0
	FERTS	638,73	555,65	13,0		FERTS	815,74	644,26	21,0
	AGRTX	171,42	147,89	13,7		AGRTX	1177,83	433,36	63,2
	ASTEC	19,19	17,72	7,7		ASTEC	83,74	59,95	28,4
CS4	OPMAQ	1190,74	870,47	26,9	PE6	OPMAQ	816,88	801,53	1,9
	MDOFX	81,52	64,37	21,0		MDOFX	131,45	128,98	1,9
	SEMS	198,55	183,77	7,4		SEMS	206,05	202,18	1,9
	FERTS	695,24	643,47	7,4		FERTS	662,08	649,64	1,9
	AGRTX	470,67	430,16	8,6		AGRTX	387,61	380,33	1,9
	ASTEC	72,90	59,09	18,9		ASTEC	71,15	60,60	14,8
CS5	OPMAQ	1115,45	838,45	24,8	CS6	OPMAQ	970,17	766,92	20,9
	MDOFX	133,80	73,41	45,1		MDOFX	65,12	63,28	2,8
	SEMS	247,94	186,37	24,8		SEMS	200,86	195,18	2,8
	FERTS	891,37	670,01	24,8		FERTS	773,78	751,88	2,8
	AGRTX	1214,32	552,16	54,5		AGRTX	804,98	567,81	29,5
	ASTEC	87,47	65,75	24,8		ASTEC	86,71	65,84	24,1

Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se a partir dos resultados apresentados, que as principais contribuições analíticas da DEA são direcionadas às DMUs ineficientes. Aquelas classificadas como eficientes ficam à margem das interpretações possíveis. Adicionalmente, ressalta-se que a DEA é bastante benevolente com os pesos atribuídos a cada DMU individualmente, buscando sempre a combinação que maximize a sua eficiência. Isso leva a um problema prático: qual é a DMU mais eficiente dentre as DMUs do grupo analisado?

Neste trabalho, optou-se por fazer este estudo a partir da análise de eficiência cruzada, que consiste na avaliação de eficiência de uma DMU sob duas perspectivas: auto avaliação e avaliação pelos pares. No seu cálculo, cada DMU tem suas entradas e saídas testadas pelos pesos utilizados para estabelecer a eficiência das demais DMUs, e o escore final será a média dos valores obtidos. Realizados os cálculos (Apêndice B), observou-se que os pesos das DMUs PE5, UR2 e UR5 geraram eficiências negativas para alguns de seus pares. A literatura DEA tem tratado as eficiências negativas em análises de eficiência cruzada (WU; LIANG; CHEN, 2009; RAMÓN; RUIZ; SIRVENT, 2011; MELLO *et al.*, 2013; LIM; ZHU, 2014) propondo modificações e/ou novos modelos. A existência de escores negativos na eficiência cruzada são associados ao fato dos pesos adotados induzirem a produção de saídas gratuitas, assim, a eficiência cruzada permite identificar e eliminar esquemas de ponderação irrealistas (LIM; ZHU, 2014).

Considerando os objetivos deste trabalho, para viabilizar a análise da eficiência cruzada optou-se por adotar o mesmo procedimento utilizado por Mello, Lins e Gomes (2002), que consiste na exclusão das DMUs que levam as eficiências negativas do processo avaliativo dos seus pares (ver Apêndice C). Com isso, o *ranking* de desempenho das DMUs é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Eficiência cruzada, modelo BCC - *inputs*/geral

<i>Ranking</i>	DMU	Eficiência	<i>Ranking</i>	DMU	Eficiência
1	UR3	0,956	16	PE2	0,845
2	CS1	0,938	17	SR3	0,804
3	UR1	0,926	18	SR2	0,803
4	BS3	0,910	19	BS2	0,803
5	BS4	0,907	20	PE6	0,777
6	PE3	0,904	21	CS4	0,751
7	CS2	0,900	22	UR6	0,749
8	SR1	0,885	23	PE5	0,748
9	UR2	0,880	24	UR5	0,720
10	BS5	0,879	25	SR4	0,713
11	PE1	0,868	26	SR6	0,706
12	CS3	0,867	27	BS6	0,668
13	PE4	0,860	28	SR5	0,635
14	UR4	0,856	29	CS6	0,612
15	BS1	0,853	30	CS5	0,606

Fonte: Dados da pesquisa.

Nas primeiras cinco posições do *ranking* aparecem DMUs que representam as regiões de Uruguaiana, Cachoeira do Sul e Balsas. O escore máximo obtido pela primeira colocada foi 0,956, isso indica que nenhuma das DMUs obteve escore = 1,0 em todos os testes, quando analisadas sob os pesos dos pares. Os piores desempenhos foram atribuídos a duas DMUs de Cachoeira do Sul (CS6 e CS5), que na análise da ET obtiveram os menores escores.

Destaca-se que os escores de PE5, UR2 e UR5 correspondem a média obtidas utilizando apenas a avaliação pelos pares, uma vez que os seus pesos foram excluídos da eficiência cruzada por indicarem relações de produção irrealistas. As eficiências negativas geradas por estas DMUs restringiram-se às DMUs da região de Balsas, podendo ser decorrente da diferença do modo de produção adotado nela. Esta questão é verificada no tópico 4.6 com a realização de análises por categorias.

4.3.3 Resultado das medidas de eficiências alocativa e de custos

Outros conceitos importantes dentro da análise de eficiência são os da eficiência alocativa e da eficiência de custos. Como exposto na revisão de literatura a eficiência alocativa avalia a combinação de diferentes fatores de produção, levando em conta os preços destes fatores. Nela se busca o uso da menor quantidade possível de insumos para se produzir uma quantidade equivalente de produtos. Em outras palavras, visa a economia dos custos de produção (insumo), mantendo-se a mesma produção, refletindo assim a habilidade de uma firma em utilizar seus insumos em proporções ótimas, considerando seus respectivos preços (FARREL, 1957; VASCONCELLOS; GARCIA, 2004).

A eficiência econômica ou de custos avalia a produtividade total dos fatores e identifica a habilidade das firmas produzirem o máximo, dado um conjunto de fatores de produção. Ela pode ser interpretada como a potencial redução nos custos de produção ou o potencial aumento da receita (eficiência de receita) que uma firma poderia aplicar para operar no ponto de eficiência técnica e alocativa. A eficiência econômica permite tirar conclusões sobre se a firma opera em um tamanho ótimo ou subótimo. (CESÁREO *et al.*, 2009; FARREL, 1957). Na Tabela 14 são apresentados os escores de EA e de EC para as 30 DMUs do estudo com as respectivas estatísticas descritivas.

Essas medidas de eficiência são orientadas para a minimização dos custos de produção. Observa-se que diferente da eficiência técnica e de escala em que diversas DMUs se mostraram eficientes, nestas duas medidas apenas Pelotas nas safras 2011/12 e 2015/16 (PE5) e Uruguaiana na safra 2011/12 (UR1) foram consideradas eficientes.

O escore médio de EA obtido pelas DMUs analisadas foi de 0,779, e considerando a mediana do conjunto de dados pode-se afirmar que pelo menos 50% das DMUs alcançaram escores igual ou superior a 0,787. Na EC, o escore médio obtido foi inferior ao da EA, alcançando o valor de 0,764, assim como a mediana de 0,741.

A região de Sorriso teve todas as suas DMUs classificadas como tecnicamente eficientes, tanto no modelo CCR quanto no BCC, contudo na EA e na EC os seus escores ficaram abaixo da média geral. Em suma, os resultados de ambas as medidas demonstram que quase a totalidade das DMUs avaliadas não estão conseguindo controlar os custos dos fatores de produção em níveis mínimos, existindo um potencial de redução de custos. Assim, mesmo que 24 DMUs tenham sido consideradas tecnicamente eficientes, predomina entre elas as ineficiências alocativa e de custos.

Tabela 14 - Resultado das medidas de eficiências alocativa e de custos, modelo BCC-*inputs*/geral

DMU		Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência de Custo (EC)
BS1	Balsas 2011/12	0,898	0,898
BS2	Balsas 2012/13	0,932	0,932
BS3	Balsas 2013/14	0,957	0,957
BS4	Balsas 2014/15	0,794	0,794
BS5	Balsas 2015/16	0,782	0,782
BS6	Balsas 2016/17	0,867	0,801
CS1	Cachoeira do Sul 2011/12	0,968	0,968
CS2	Cachoeira do Sul 2012/13	0,818	0,818
CS3	Cachoeira do Sul 2013/14	0,860	0,860
CS4	Cachoeira do Sul 2014/15	0,800	0,740
CS5	Cachoeira do Sul 2015/16	0,782	0,588
CS6	Cachoeira do Sul 2016/17	0,802	0,634
PE1	Pelotas 2011/12	1,000	1,000
PE2	Pelotas 2012/13	0,822	0,807
PE3	Pelotas 2013/14	0,680	0,680
PE4	Pelotas 2014/15	0,792	0,792
PE5	Pelotas 2015/16	1,000	1,000
PE6	Pelotas 2016/17	0,710	0,690
SR1	Sorriso 2011/12	0,742	0,742
SR2	Sorriso 2012/13	0,584	0,584
SR3	Sorriso 2013/14	0,589	0,589
SR4	Sorriso 2014/15	0,613	0,613
SR5	Sorriso 2015/16	0,512	0,512
SR6	Sorriso 2016/17	0,665	0,665
UR1	Uruguaiana 2011/12	1,000	1,000
UR2	Uruguaiana 2012/13	0,683	0,683
UR3	Uruguaiana 2013/14	0,726	0,726
UR4	Uruguaiana 2014/15	0,717	0,717
UR5	Uruguaiana 2015/16	0,697	0,697
UR6	Uruguaiana 2016/17	0,658	0,658
Média		0,782	0,764
Mediana		0,787	0,741
Amplitude		0,488	0,488
Nº de DMUs eficientes		3	3

Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados das medidas de eficiência alocativa e de custos desta pesquisa também são compatíveis com os encontrados em Coelli, Rahman e Thirthe (2002) e Nargis e Lee (2013). Ainda que as médias obtidas sejam diferentes, predomina o resultado de ineficiência alocativa e econômica entre as DMUs.

4.4 Avaliação por categorias

As DMUs avaliadas, apesar de possuírem características semelhantes e atenderem os critérios para serem analisadas em conjunto, diferem-se em relação ao sistema de cultivo (sequeiro e irrigado) e ao sistema de plantio (convencional, cultivo mínimo e direto/semidireto), assim adicionalmente buscou-se processar avaliações das medidas de eficiências considerando essas categorias e suas especificidades, utilizando-se as mesmas variáveis.

4.4.1 Eficiência técnica, alocativa e de custos, *benchmarks*, *slacks* e potenciais de melhoria nos custos de produção por sistema de cultivo

Os sistemas de cultivos sequeiro e irrigado são predominantes da orizicultura brasileira. Nesta pesquisa, tem-se duas regiões que representam o sistema sequeiro: Balsas (MA) e Sorriso (MT), e três que representam o sistema irrigado: Cachoeira do Sul, Pelotas e Uruguaiana (RS). Na análise desenvolvida neste tópico as DMUs são comparadas apenas com aquelas que fazem uso do mesmo sistema de cultivo.

Do mesmo modo que na avaliação geral, realizou-se o cálculo da super-eficiência (modelo CCR, orientado aos *inputs*) com o objetivo de verificar a existência de *outliers*. A Tabela 15 apresenta a distribuição de frequência dos escores obtidos para as DMUs em cada sistema. A eficiência máxima observada foi de 147,5 em BS1, 60% dos escores são maiores que 100,0, e há maior concentração de DMUs na classe 4 (92,5 - 111,0). Não há indicativos da presença de *outliers*.

Tabela 15 - Distribuição de frequência dos escores da super-eficiência: CCR/*inputs*/SC

	Classes			X_i	f_i	$f_{ri}(\%)$	F_i	$F_{ri ac}(\%)$
1	37,0	—	55,5	46,3	1	3,3	1	3,3
2	55,5	—	74,0	65,8	2	6,7	3	10,0
3	74,0	—	92,5	83,3	2	6,7	5	16,7
4	92,5	—	111,0	101,8	16	53,3	21	70,0
5	111,0	—	129,5	120,3	7	23,3	28	93,3
6	129,5	—	148,0	138,8	2	6,7	30	100,0

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 16 apresenta os resultados da análise de eficiência técnica, retornos de escala e *ranking* das DMUs. Observa-se que as medidas de eficiência técnica das DMUs que representam o sistema sequeiro variaram pouco. Balsas que na análise geral teve 5 DMUs

tecnicamente ineficientes (modelo CCR), na análise por sistema de cultivo permaneceu com 4 de suas DMUs nesta condição. Por outro lado, o resultado da eficiência técnica do sistema sequeiro no modelo BCC foi exatamente igual, tanto que apenas BS6 foi considerada ineficiente, tendo obtido o mesmo escore em ambas as análises. O retorno de escala das DMUs é predominantemente constante e há problemas de escala de produção em BS2, BS3 e BS5, e problema de escala e de eficiência em BS6. As três DMUs que tiveram os melhores desempenhos, pela análise de eficiência cruzada, foram da região de Sorriso, respectivamente, SR2, SR1 e SR3, nesta análise os pesos assumidos por SR5 não foram considerados para as demais DMUs por gerarem eficiência negativas.

Tabela 16 - Eficiência técnica, eficiência e retornos de escala e *ranking* das DMUs

SC*	DMU	Eficiência Técnica (ET)			Eficiência de escala	Retorno de Escala	Maior problema	Eficiência cruzada**	
		RCE/CCR	RVE/BCC	RNCE				Média	Ranking
SEQUEIRO	BS1	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,778	8°
	BS2	0,773	1,000	0,773	0,773	Crescente	Escala	0,726	11°
	BS3	0,983	1,000	0,983	0,983	Crescente	Escala	0,836	6°
	BS4	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,891	5°
	BS5	0,997	1,000	0,997	0,997	Crescente	Escala	0,902	4°
	BS6	0,374	0,923	0,374	0,405	Crescente	Escala e Eficiência	0,609	12°
	SR1	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,977	2°
	SR2	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,984	1°
	SR3	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,966	3°
	SR4	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,787	7°
	SR5	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,734	10°
	SR6	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,764	9°
IRRIGADO	CS1	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,997	1°
	CS2	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,967	5°
	CS3	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,915	10°
	CS4	0,854	0,959	0,854	0,891	Crescente	Escala e Eficiência	0,800	14°
	CS5	0,707	0,769	0,707	0,920	Crescente	Escala e Eficiência	0,608	17°
	CS6	0,703	0,824	0,703	0,854	Crescente	Escala e Eficiência	0,596	18°
	PE1	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,934	7°
	PE2	0,956	0,996	0,956	0,959	Crescente	Escala e Eficiência	0,908	11°
	PE3	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,990	2°
	PE4	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,928	9°
	PE5	0,963	1,000	1,000	0,963	Decrescente	Escala	0,833	13°
	PE6	0,972	0,972	0,972	1,000	Constante	Eficiência	0,841	12°
	UR1	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,969	4°
	UR2	0,985	1,000	1,000	0,985	Decrescente	Escala	0,930	8°
	UR3	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,980	3°
	UR4	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,956	6°
UR5	0,977	1,000	1,000	0,977	Decrescente	Escala	0,781	16°	
UR6	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,788	15°	

Fonte: Dados da pesquisa. * Sistema de Cultivo. **Modelo BCC, orientado aos *inputs*.

No sistema irrigado, as medidas de eficiência técnica no modelo CCR não sofreram nenhuma alteração. Já no modelo BCC, com exceção da PE6 que manteve mesmo escore, em todas as demais DMUs ineficientes houve um pequeno aumento no escore de eficiência, sem contudo alterar a classificação de nenhuma delas. O retorno de escala predominante também

foi o constante, quatro DMUs apresentaram problemas de escala e eficiência (CS4, CS5, CS6 e PE2). No *ranking* de eficiência as DMUs, as três primeiras posições são ocupadas por DMUs representantes de Cachoeira do Sul, Pelotas e Uruguaiana.

Na Tabela 17, as alterações percebidas nos escores das DMUs ineficientes do sistema de cultivo irrigado, provavelmente decorrem das mudanças dos *benchmarks*, na avaliação que considerou as 30 DMUs em conjunto, as DMUs de Balsas foram as que funcionaram com maior frequência como referências, inclusive para as diversas DMUs do sistema irrigado. Como na análise por sistema de cultivo ela fica circunscrita às DMUs do sistema sequeiro, outras DMUs do sistema irrigado passam a ocupar o espaço outrora ocupado por Balsas, alterando o sistema de referências, índices de importância e *benchmarks* em seu interior. É por este motivo também que não se vê qualquer alteração em BS6, pois seus *benchmarks* permaneceram os mesmos.

Tabela 17 - Resultados da análise de eficiência técnica, modelo BCC-*input*/sistemas de cultivo

sc*	DMU	Escore de eficiência	Freq. como referência	<i>Benchmarks</i> (<i>IR</i> *)	<i>Slacks para as entradas</i>						
					OPMAQ	MDOFX	SEMS	FERTS	AGRTX	ASTEC	ARROZ
SEQUEIRO	BS1	100,00	1		0	0	0	0	0	0	0
	BS2	100,00	2		0	0	0	0	0	0	0
	BS3	100,00	2		0	0	0	0	0	0	0
	BS4	100,00	2		0	0	0	0	0	0	0
	BS5	100,00	2		0	0	0	0	0	0	0
	BS6	92,33		BS2 _(0,05) ; BS3 _(0,79) ; BS4 _(0,01) e BS5 _(0,16)	0	0	0	34,08	10,38	0	834,07
	SR1	100,00	1		0	0	0	0	0	0	0
	SR2	100,00	1		0	0	0	0	0	0	0
	SR3	100,00	1		0	0	0	0	0	0	0
	SR4	100,00	1		0	0	0	0	0	0	0
	SR5	100,00	1		0	0	0	0	0	0	0
	SR6	100,00	1		0	0	0	0	0	0	0
IRRIGADO	CS1	100,00	6		0	0	0	0	0	0	0
	CS2	100,00	2		0	0	0	0	0	0	0
	CS3	100,00	4		0	0	0	0	0	0	0
	CS4	95,87		CS1 _(0,32) ; CS2 _(0,16) ; CS3 _(0,03) e UR4 _(0,49)	184,4	0	0	0	0	4,16	792,5
	CS5	76,88		CS1 _(0,15) ; CS3 _(0,09) ; PE3 _(0,28) e PE4 _(0,48)	0	11,67	0	0	421,82	0	380,66
	CS6	82,37		CS1 _(0,17) ; PE3 _(0,15) ; PE4 _(0,64) e UR4 _(0,03)	0	40,56	0	0	414,69	0	948,02
	PE1	100,00	1		0	0	0	0	0	0	0
	PE2	99,62		CS1 _(0,24) ; CS3 _(0,38) ; PE3 _(0,23) ; PE4 _(0,08) e UR3 _(0,08)	0	0	0	0	0	8,87	254,6
	PE3	100,00	4		0	0	0	0	0	0	0
	PE4	100,00	4		0	0	0	0	0	0	0
	PE5	100,00	1		0	0	0	0	0	0	0
	PE6	97,17		CS1 _(0,02) ; UR3 _(0,55) ; UR4 _(0,42) e UR6 _(0,02)	175,79	0	0	0	214,39	18,41	0
	UR1	100,00	1		0	0	0	0	0	0	0
	UR2	100,00	1		0	0	0	0	0	0	0
	UR3	100,00	3		0	0	0	0	0	0	0
	UR4	100,00	4		0	0	0	0	0	0	0
	UR5	100,00	1		0	0	0	0	0	0	0
	UR6	100,00	2		0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa. * Sistema de Cultivo.

Além dos *benchmarks* e dos índices de importância, houve mudanças significativas nas folgas das DMUs do sistema irrigado. Os zeros nas variáveis de entrada SEMS e FERTS indicam que todas as DMUs do sistema irrigado as utilizam em proporções adequadas, inclusive as ineficientes.

Outra mudança, foram nas folgas identificadas para a variável de saída (ARROZ). Na avaliação geral (tópico 4.3), apenas BS6 apresentou folga na saída, ou seja, os recursos consumidos mostraram-se suficientes para produzir mais do que foi efetivamente produzido. Na avaliação por sistema de cultivo além de BS6, 4 das 5 DMUs ineficientes do sistema irrigado demonstraram essa situação, sendo que em CS6 a folga foi próxima a 950kg/ha. Como já dito, não houve alterações no resultado do sistema sequeiro, desta forma a análise de metas para BS6 permanece inalterada.

Na Tabela 18 são apresentadas as metas para que as DMUs ineficientes se tornem eficientes. Os maiores esforços para alcançarem a eficiência são verificados para CS5 e CS6, DMUs que apresentaram os menores escores de eficiência técnica. O percentual de redução é maior quando são identificadas folgas nas entradas. Destaca-se que nesta avaliação, apenas para PE6 não é verificada a necessidade de aumento na variável de saída (ARROZ), diferente do que se observou na avaliação geral, onde a saída mostrava-se adequada para todas as DMUs do sistema irrigado.

Tabela 18 - Custos atuais e custos alvos das DMUs ineficientes, BCC-*inputs*/sistema de cultivo

DMU	<i>Inputs</i>	Atual (R\$/ha)	Alvo (R\$/ha)	% de Redução	DMU	<i>Inputs</i>	Atual (R\$/ha)	Alvo (R\$/ha)	% de Redução
BS6	OPMAO	283,89	262,12	7,7	CS6	OPMAO	1063,59	876,09	17,6
	MDOFX	13,18	12,17	7,7		MDOFX	139,20	74,10	46,8
	SEMS	169,73	156,71	7,7		SEMS	230,99	190,27	17,6
	FERTS	638,73	555,65	13,0		FERTS	815,74	671,93	17,6
	AGRTX	171,42	147,89	13,7		AGRTX	1177,83	555,50	52,8
	ASTEC	19,19	17,72	7,7		ASTEC	83,74	68,98	17,6
	ARROZ	697	1531	-119,7		ARROZ	6587	7535	-14,4
	CS4	OPMAO	1190,74	957,19		19,6	PE2	OPMAO	816,88
MDOFX		81,52	78,16	4,1	MDOFX	131,45		130,95	0,4
SEMS		198,55	190,36	4,1	SEMS	206,05		205,26	0,4
FERTS		695,24	666,55	4,1	FERTS	662,08		659,55	0,4
AGRTX		470,67	451,25	4,1	AGRTX	387,61		386,13	0,4
ASTEC		72,90	65,73	9,8	ASTEC	71,15		62,01	12,8
ARROZ		6715	7508	-11,8	ARROZ	7196		7451	-3,5
CS5		OPMAO	1115,45	857,53	23,1	PE6		OPMAO	970,17
	MDOFX	133,80	91,19	31,8	MDOFX		65,12	63,28	2,8
	SEMS	247,94	190,61	23,1	SEMS		200,86	195,18	2,8
	FERTS	891,37	685,26	23,1	FERTS		773,78	751,88	2,8
	AGRTX	1214,32	511,72	57,9	AGRTX		804,98	567,81	29,5
	ASTEC	87,47	67,24	23,1	ASTEC		86,71	65,84	24,1
	ARROZ	7148	7529	-5,3	ARROZ		7703	7703	0,0

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 19 apresenta os escores de eficiências alocativa e de custos de todas as DMUs, segregadas por sistema de cultivo. Observa-se que as DMUs do sistema sequeiro alcançaram maiores médias em relação às DMUs do sistema irrigado. No sistema sequeiro são consideradas eficientes BS3, SR1 e SR4, e no sistema irrigado PE1, PE5 e UR1. Ainda que a análise por sistema de cultivo mostre um cenário mais positivo para as eficiências alocativa e de custo (maiores escores e quantidade de DMUs eficientes), no geral as DMUs não alocam adequadamente seus insumos e, conseqüentemente, não utilizam a estrutura produtiva com os custos mais baixos.

Tabela 19 - Eficiências alocativa e de custos, modelo BCC-*inputs*/sistema de cultivo

SC	DMU	Eficiência Alocativa (EA)	Eficiência de Custos (EC)	
SEQUEIRO	BS1	Balsas 2011/12	0,927	0,927
	BS2	Balsas 2012/13	0,940	0,940
	BS3	Balsas 2013/14	1,000	1,000
	BS4	Balsas 2014/15	0,864	0,864
	BS5	Balsas 2015/16	0,857	0,857
	BS6	Balsas 2016/17	0,906	0,837
	SR1	Sorriso 2011/12	1,000	1,000
	SR2	Sorriso 2012/13	0,871	0,871
	SR3	Sorriso 2013/14	0,783	0,783
	SR4	Sorriso 2014/15	1,000	1,000
	SR5	Sorriso 2015/16	0,795	0,795
	SR6	Sorriso 2016/17	0,892	0,892
	Média	0,903	0,897	
IRRIGADO	CS1	Cachoeira do Sul 2011/12	0,973	0,973
	CS2	Cachoeira do Sul 2012/13	0,829	0,829
	CS3	Cachoeira do Sul 2013/14	0,868	0,868
	CS4	Cachoeira do Sul 2014/15	0,787	0,754
	CS5	Cachoeira do Sul 2015/16	0,772	0,593
	CS6	Cachoeira do Sul 2016/17	0,782	0,644
	PE1	Pelotas 2011/12	1,000	1,000
	PE2	Pelotas 2012/13	0,813	0,810
	PE3	Pelotas 2013/14	0,681	0,681
	PE4	Pelotas 2014/15	0,794	0,794
	PE5	Pelotas 2015/16	1,000	1,000
	PE6	Pelotas 2016/17	0,711	0,691
	UR1	Uruguaiana 2011/12	1,000	1,000
	UR2	Uruguaiana 2012/13	0,683	0,683
	UR3	Uruguaiana 2013/14	0,728	0,728
	UR4	Uruguaiana 2014/15	0,718	0,718
	UR5	Uruguaiana 2015/16	0,697	0,697
	UR6	Uruguaiana 2016/17	0,661	0,661
	Média	0,805	0,785	

Fonte: Dados da pesquisa.

4.4.2 Eficiência técnica, alocativa e de custos, *benchmarks*, *slacks* e potenciais de melhoria nos custos de produção por sistema de plantio

Os sistemas de plantios verificados para as DMUs da amostra são basicamente três: convencional, cultivo mínimo e direto/semidireto. Apenas para a região de Balsas verifica-se apenas um único sistema de plantio (convencional) para todas as safras selecionadas. Nas demais regiões há alternância entre os sistemas de uma safra para outra. Nas DMUs

representantes das regiões do Rio Grande do Sul predomina os sistemas de plantio cultivo mínimo e direto/semidireto.

A Tabela 20 apresenta a distribuição de frequências dos escores de super-eficiência das DMUs segregadas por sistema de plantio. Apesar do limite superior de eficiência ter se elevado, não há indícios da presença de *outliers*.

Tabela 20 - Distribuição de frequência escores de super-eficiência: CCR/inputs/SP

	Classes			X_i	f_i	$f_{ri}(\%)$	F_i	$F_{ri} AC(\%)$
1	31,0	—	52,8	41,9	1	3,3	1	3,3
2	52,8	—	74,7	63,8	2	6,7	3	10,0
3	74,5	—	96,5	85,6	4	13,3	7	23,3
4	96,5	—	118,3	107,4	17	56,7	24	80,0
5	118,3	—	140,2	129,3	4	13,3	28	93,3
6	140,2	—	162,0	151,1	2	6,7	30	100,0

Fonte: Dados da pesquisa.

A análise dos resultados da eficiência técnica, retorno de escala e o *ranking* do desempenho das DMUs são apresentados na Tabela 21. Tais resultados devem ser avaliados com cautela, pois nela a regra de ouro quanto a quantidade de variáveis não foi observada, reduzindo seu poder discriminatório.

Tabela 21 - Eficiência técnica, eficiência e retornos de escala e *ranking* /sistema de plantio

SP*	DMU	Eficiência Técnica (ET)			Eficiência de escala (EE)	Retorno de Escala	Maior problema	Eficiência cruzada**	
		RCE/CCR	RVE/BCC	RNCE				Média	Ranking
CONVENCIONAL	BS1	0,787	1,000	0,787	0,787	Crescente	Escala	0,779	9º
	BS2	0,595	1,000	0,595	0,595	Crescente	Escala	0,723	10º
	BS3	0,948	1,000	0,948	0,948	Crescente	Escala	0,827	8º
	BS4	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,838	6º
	BS5	0,767	1,000	0,767	0,767	Crescente	Escala	0,837	7º
	BS6	0,318	0,923	0,318	0,344	Crescente	Escala e Eficiência	0,587	11º
	CS1	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,951	1º
	CS2	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,908	2º
	CS3	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,896	3º
CULTIVO MÍNIMO	SR2	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,889	4º
	SR3	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,884	5º
	CS4	0,969	1,000	0,969	0,969	Crescente	Escala	0,894	6º
	CS5	0,757	0,804	0,757	0,942	Crescente	Escala e Eficiência	0,726	8º
	CS6	0,745	0,857	0,745	0,869	Crescente	Escala e Eficiência	0,719	9º
	PE3	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	1,000	1º
	PE4	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	1,000	1º
	PE5	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,917	3º
	PE6	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,910	4º
(SEM)DIRETO	UR4	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,966	2º
	UR5	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,896	5º
	UR6	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,878	7º
	PE1	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,899	3º
	PE2	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,793	6º
	SR1	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,834	5º
	SR4	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,749	8º
	SR5	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,650	9º
	SR6	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,751	7º
UR1	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,958	2º	
UR2	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,872	4º	
UR3	1,000	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,974	1º	

Fonte: Dados da pesquisa. * Sistema de Plantio. **Modelo BCC, orientado aos *inputs*.

A análise pelo sistema de plantio permite verificar que as DMUs que obtiveram os menores escores de eficiência tanto na avaliação geral, como na avaliação por sistema de cultivo (CS6, CS5 e BS6), foram as únicas ineficientes. Destaca-se ainda que as DMUs que fizeram uso do plantio direto/semidireto foram todas eficientes. Quatro DMUs apresentaram problema de escala (BS1, BS2, BS3, BS5 e CS4) e outras três além de escala, também apresentaram problema de eficiência (BS6, CS5 e CS6). Mesmo tendo utilizado a eficiência cruzada como medida de desempate, as DMUs PE3 e PE4 mantiveram-se empatadas, no plantio por cultivo mínimo.

Dada a reorganização das DMUs por sistemas de plantio, ocorre também alteração dos *benchmarks* e folgas verificadas para as DMUs CS5 e CS6, conforme evidencia a Tabela 22, persiste na avaliação por sistema de plantio as folgas na variável de saída observadas na avaliação por sistema de cultivo para estas DMUs.

Tabela 22 - Resultados da análise de eficiência técnica, modelo BCC-inputs/sistemas de plantio

DMU	Escore de eficiência	<i>Benchmarks</i> _(IR*)	<i>Slacks para as entradas</i>						
			OPMAQ	MDOFX	SEMS	FERTS	AGRTX	ASTEC	ARROZ
CS5	80,43	PE3(0,33) e PE4(0,67)	38,98	26,96	17,85	0	396,44	0	443,26
CS6	85,68	PE3(0,2) e PE4(0,8)	46,37	40,96	17,37	0	405,92	0	390,31

Fonte: Dados da pesquisa.

A principal diferença da avaliação por sistemas de plantio em relação as demais realizadas neste trabalho é a quantidade de DMUs classificadas como eficientes, 22 no modelo CCR e 27 no modelo BCC, contudo isso não repercutiu no estabelecimento das metas, para BS6 não houve qualquer alteração, já para CS5 e CS6 as alterações decorrem mais da constatação de existência de folgas nos insumos do que de mudança no padrão de ineficiência.

Na Tabela 23, verificou-se que na avaliação por sistema de plantio as médias mais altas de eficiência alocativa e de custos foram as das DMUs que utilizam a forma de plantio por cultivo mínimo (EA=0,929 e EC=0,897), superiores inclusive às médias observadas na avaliação geral e na avaliação por sistema de cultivo.

Tabela 23 - Eficiências alocativa e de custos, modelo BCC-inputs/sistema de plantio

SP	DMU		Eficiência Alocativa	Eficiência de Custos
CONVENCIONAL	BS1	Balsas 2011/12	0,906	0,906
	BS2	Balsas 2012/13	0,940	0,940
	BS3	Balsas 2013/14	1,000	1,000
	BS4	Balsas 2014/15	0,830	0,830
	BS5	Balsas 2015/16	0,818	0,818
	BS6	Balsas 2016/17	0,906	0,837
	CS1	Cachoeira do Sul 2011/12	1,000	1,000
	CS2	Cachoeira do Sul 2012/13	0,859	0,859
	CS3	Cachoeira do Sul 2013/14	1,000	1,000
	SR2	Sorriso 2014/15	0,610	0,610
	SR3	Sorriso 2015/16	0,616	0,616
	Média		0,862	0,856
CULTIVO MÍNIMO	CS4	Cachoeira do Sul 2015/16	0,936	0,936
	CS5	Cachoeira do Sul 2016/17	0,926	0,745
	CS6	Cachoeira do Sul 2011/12	0,944	0,808
	PE3	Pelotas 2013/14	0,879	0,879
	PE4	Pelotas 2014/15	1,000	1,000
	PE5	Pelotas 2015/16	1,000	1,000
	PE6	Pelotas 2016/17	0,902	0,902
	UR4	Uruguaiiana 2014/15	0,952	0,952
	UR5	Uruguaiiana 2015/16	0,918	0,918
UR6	Uruguaiiana 2016/17	0,834	0,834	
	Média		0,929	0,897
DIRETO/SEMIDIRETO	PE1	Pelotas 2011/12	1,000	1,000
	PE2	Pelotas 2012/13	0,810	0,810
	SR1	Sorriso 2011/12	0,742	0,742
	SR4	Sorriso 2013/14	0,613	0,613
	SR5	Sorriso 2014/15	0,512	0,512
	SR6	Sorriso 2015/16	0,665	0,665
	UR1	Uruguaiiana 2011/12	1,000	1,000
	UR2	Uruguaiiana 2012/13	0,683	0,683
	UR3	Uruguaiiana 2013/14	0,728	0,728
	Média		0,750	0,750

Fonte: Dados da pesquisa.

Mesmo que não se possa afirmar que a avaliação por sistema de plantio seja consistente, uma vez que o número de variáveis do conjunto de entradas e saídas não atende às recomendações da literatura, principalmente considerando a limitação de quantidades de DMUs da amostra utilizada por este trabalho, tal análise é importante pois pode levar a decisões mais acertadas dos produtores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de medidas de eficiências técnica, de escala, alocativa e de custos são relevantes para identificar o cenário nacional da produção de arroz. Este trabalho teve como objetivo investigar a eficiência das principais regiões produtoras de arroz no Brasil, sendo elas: Balsas no estado do Maranhão, Sorriso no estado de Mato Grosso, Cachoeira do Sul, Pelotas e Uruguaiana do estado do Rio Grande do Sul, em relação aos custos de produção do arroz nas safras 2011/2012 a 2016/2017.

Os custos de produção foram detalhados para cada uma das cinco regiões estudadas, o custo total das regiões localizadas no Estado do Rio Grande do Sul foram os maiores, superiores a R\$ 5,7 mil por hectare. O custeio com a lavoura teve maior participação no custo total em todas as regiões, variando entre 57,6% e 64,2%, o que é compatível com estudo desenvolvido pela CONAB no qual se constatou que os custos variáveis com a lavoura são os mais expressivos na orizicultura.

Observando, de forma desagregada os elementos de custos selecionados como variáveis de entrada e saída no modelo DEA adotado neste trabalho, verificou-se que os custos com fertilizantes foram os mais altos e uniformes considerando o conjunto de regiões. Os custos relacionados a operações com máquinas foram os mais elevados nas regiões do Estado do Rio Grande do Sul. Já o custo com mão-de-obra fixa foram menores nas regiões de Balsas (MA) e Sorriso (MT).

Analisou-se a eficiência técnica (ET) das regiões produtoras, adotando prioritariamente o modelo DEA-BCC orientado para os *inputs*. A média do escore de eficiência neste modelo foi de 0,978, seis DMUs apresentaram ineficiência, e apenas as regiões de Sorriso e Uruguaiana mostraram-se eficientes em todo o período analisado, todas as demais apresentaram ineficiência em pelo menos uma safra. As DMUs que serviram com maior frequência como *benchmark* foram: BS3, CS1 e PE3.

Ainda com base nos resultados do modelo BCC, e considerando os valores alvos dos *inputs*, a serem perseguidos pelas DMUs ineficientes para alcançarem a fronteira de eficiência, CS5 e PE2 são as que precisam empreender os maiores esforços de redução nos custos para tornarem-se eficientes. Os maiores percentuais de redução, considerando as oito DMUs ineficientes, foram para mão-de-obra fixa (MDOFX) e operações com máquinas (OPMAQ).

Verificou-se os efeitos de escala a partir do cálculo da eficiência de escala, e constatou-se que cinco DMUs apresentaram apenas problemas de escala, uma apenas problema de eficiência e seis ambos os problemas. Ou seja, as cinco primeiras não operam em escala ótima de produção, enquanto as seis últimas além de não operarem em escala ótima de produção, também não utilizam adequadamente os insumos empregados na cultura do arroz.

De forma complementar, calculou-se os escores de eficiência alocativa e de custos das DMUs, também considerando a modelagem DEA com orientação para os *inputs* e retornos variáveis de escala. A média do escore da eficiência alocativa (EA) foi de 0,782, mais de 50% das DMUs apresentaram escores superiores a 0,787 e apenas PE1, PE5 e UR1 foram consideradas eficientes. Na eficiência de custos (EC) a média dos escores calculados foi 0,764, e mais de 50% das DMUs apresentaram escores superiores a 0,741. Os menores escores de EA e EC foram os das DMUs da região de Sorriso e Uruguaiana.

Adicionalmente, para analisar o efeito do sistema de cultivo e do sistema de plantio sobre os escores de eficiência calculou-se a ET, EA e EC, primeiro segregando as DMUs por sistema de cultivo e depois por sistema de plantio. Verificou-se que a análise segregando as DMUs por sistema de cultivo, apesar de ocorrer melhoria nas médias, medianas e redução na dispersão dos escores, não há alteração na quantidade de DMUs eficientes tecnicamente, mas nas medidas de eficiência alocativa e de custo obteve-se três DMUs eficientes em cada sistema de cultivo.

Já na análise segregando as DMUs por sistema de plantio houveram significativas mudanças: a quantidade de DMUs eficientes tecnicamente passou de 24 para 27, com predominância para as DMUs pertencentes ao sistema de plantio direto e semidireto; a quantidade de DMUs com escores de EA e EC considerados eficientes passou para sete, sendo que três pertencem ao sistema de plantio convencional.

Por fim, o trabalho trouxe importantes achados sobre o cultivo de arroz no Brasil, e dada a escassez de estudos semelhantes deu-se enfoque a abordagem exploratória e descritiva das medidas de eficiências para a amostra selecionada. Ainda assim, a melhor compreensão dos achados exige o aprofundamento do estudo da cultura do arroz no Brasil, especialmente a partir de uma plataforma de custos mais analítica por município ou fazenda produtora.

Assim, foram limitações deste estudo: (i) a existência de informação de custos apenas de forma agregada por região; e (ii) a ausência de variáveis relacionadas ao ambiente da orizicultura no modelo de avaliação; (iii) o fato dos resultados, por questões da própria modelagem DEA, ficarem restritos às DMUs avaliadas, não podendo ser generalizados.

Sugere-se que pesquisas futuras busquem analisar os custos de fatores de produção na orizicultura em níveis mais desagregados, talvez por município, bem como, sejam consideradas características relacionadas aos produtores e aos processos de gestão por eles adotados como determinantes da eficiência ou ineficiência, e ainda, que seja investigado os níveis de eficiência alocativa e de custos de outras culturas, como o trigo, a soja e o café.

Nesta pesquisa, observou-se evidências de que o modelo CCR apresentou maior poder de identificação de oscilações na produtividade decorrentes de fatores climáticos, contudo esta análise não foi aprofundada em virtude de não ser objetivo deste trabalho, podendo ser abordada em estudos futuros. Também é relevante a verificação da relação da eficiência produtiva com os preços das *commodities*, taxa de câmbio etc.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, K.; MACEDO, M. A. S. Análise do desempenho contábil-financeiro no agronegócio brasileiro: aplicando DEA no setor agroindustrial nos anos 2006 e 2007. **Pensar Contábil**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 48, p. 5-21, maio/ago., 2010.
- ALMEIDA, P. N. A. **Fontes de crescimento e sistema produtivo da orizicultura no Mato Grosso**. 2003. 213 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2003.
- ALMEIDA, M. R.; MARIANO, E. B. Avaliação de eficiência dos aeroportos internacionais brasileiros. **Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Foz do Iguaçu, 2007. Disponível em: <producaoonline.org.br/rpo/article/download/51/51>. Acesso em: 20 out. 2017.
- ALVES, E.; SOUZA, G. S.; GOMES, E. G. **Contribuição da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2013.
- ALVIM, A. M.; STULP, V. J.; KAYSER, V. H. Análise da eficiência técnica nas lavouras de arroz no Rio Grande do Sul. **Redes**, v. 20, n. 2, p. 158-175, 2015.
- ANDERSEN, P.; PETERSEN, N. C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. **Management science**, v. 39, n. 10, p. 1261-1264, oct., 1993.
- ANDERSON, S. W. Managing costs and cost structure throughout the value chain: research on strategic cost management. In: CHAPMAN, C.; HOPWOOD, A.; SHIELDS, M. **Handbook of Management Accounting Research**, v. 2. Oxford: Elsevier, 2006.
- ANDRADE, M. M. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- ARAÚJO, M.J. **Fundamentos do Agronegócio**. São Paulo: Editora Atlas, 2007.
- ARROW, K. J. Methodological individualism and social knowledge. **The American Economic Review**, v. 84, n. 2, p. 1-9, 1994.
- AYRES, A. J. S. **Setor arrozeiro: panorama da produção e da competitividade no Mercosul e da localização espacial da atividade no Rio Grande do Sul**. 2010. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2010.
- AZAMBUJA, A. M. V.; OLIVEIRA, M. S.; LIMA, M. L. P. Aplicação do modelo de análise de janelas DEA em terminais de contêineres brasileiros. **Journal of Transport Literature**, n. 9, v. 4, p. 25-29, 2015.
- BADIN, N. T. **Avaliação da produtividade de supermercados e seu benchmarking**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. SC. 1997

BANKER, R. D. *et al.* An introduction to data envelopment analysis with some of its models and their uses. **Research in governmental and nonprofit accounting**, v. 5, p. 125-163, 1989.

BANKER, R. D.; BARDHAN, I.; COOPER, W. W. A note on returns to scale in DEA.

European Journal of Operational Research, v. 88, n. 3, p. 583-585, 1996.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BANKER, R. D.; NATARAJAN, R. Statistical tests based on DEA efficiency scores. In: **Handbook on data envelopment analysis**. Springer US, 2011. p. 273-295.

BARBOSA, J. P. G. **Eficiência técnica e de escala dos custos de produção das cidades produtoras de soja do Brasil**. 2016. 99 p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis, 2016.

BARBOSA, W. F.; SOUSA, E. P. Eficiência técnica e de escala da agropecuária no estado do Ceará. **Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas**, n. 17, p. 153-185, 2014.

BERLINER, C.; BRIMSON, J. A. **Cost management for today's advanced manufacturing**. Harvard Business School Press, 1988.

BO, C. P. Performance evaluation of data envelopment analysis. **Wu-Nan Book Inc.**, Taiwan, 2005.

BORÉM, A.; RANGEL, P.H.N. (orgs). **Arroz do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015.

BORINELLI, M. L. *et al.* Relevance lost: uma releitura. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2005.

BOWLIN, W. F. Measuring performance: an introduction to data envelopment analysis (DEA). **The Journal of Cost Analysis**, v. 15, n. 2, p. 3-27, 1998.

BRAVO-URETA, B. E.; PINHEIRO, A. E. Efficiency analysis of developing country agriculture: a review of the frontier function literature. **Agricultural and Resource Economics Review**, v. 22, p. 88-101, 1993.

BRIGATTE, H. *et al.* Análise de eficiência relativa das distribuidoras de energia elétrica brasileiras das regiões sudeste/nordeste. **Pesquisa & Debate**, v. 22, n. 1, p. 1-24, 2011.

BRITO, R. N. C. **Eficiência técnica e produtividade da agropecuária tocantinense utilizando a análise envoltória de dados**. 2013. 254 p. Dissertação (Mestrado), Faculdade Alves Faria, Goiânia, 2013.

BRONDANI, G. *et al.* Diferenciais de custos em culturas de arroz: a experiência do Rio Grande do Sul. **Revista Universo Contábil**, Blumenau, v. 2, n. 1, p. 6174, jan./abr., 2006.

BRUM, P. H. C. *et al.* A perda de recursos financeiros ao município de Uruguaiana causada pela venda do arroz irrigado in natura. In: I Congresso Internacional de Gestão Estratégica e controladoria de Organizações. **Anais...** maio, 2013.

BRUNOZI JÚNIOR, A. C. *et al.* Eficiência produtiva e análise econômica e financeira de usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. **Revista Ambiente Contábil**, Natal, v. 4, n. 2, p. 74-92, jul./dez., 2012.

BUESA, N. A evolução histórica da contabilidade como ramo do conhecimento. **Revista Eletrônica Gestão e Negócios**, v. 1, n. 1, 2010.

CAIXETA, A. C. D; WANDER, A. E. Nova economia institucional e agronegócio: aplicações e limitações. **Conjuntura Econômica Goiana**, SEGPLAN, n. 34, set., 2015.

CARMELOSSI, M. S. **Funções de aglutinação baseadas em eficiência: uma abordagem DEA para problemas de otimização multiobjetivo.** 2014. 80 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, (MG), 2014.

CARVALHO, A. P. L. **Análise da eficiência técnica e fronteiras de produção na orizicultura do Rio Grande do Sul e de Mostardas.** Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2012.

CARVALHO, T. M.; LIMA, P. F.; THOMÉ, K. M. Análise econômica dos tributos no agronegócio: custo de produção ou custo de transação. **Custos e @gronegócio on line**, v. 11, n. 1, p. 71-95, jan./mar., 2015.

CASADO, F. L.; SOUZA, A. M. Análise envoltória de dados: conceitos, metodologia e estudo da arte na educação superior. **Revista Sociais e Humanas**, v. 20, n. 1, p. 59-71, 2007.

CAVALCANTE, G. T.; FARIA, R. C. O uso dos parâmetros de *benchmarking* da análise envoltória de dados (DEA) como instrumento de orçamentação. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, v.3, n.1, p. 43-61, 2009.

CAUME, D. J. Agricultura familiar e agronegócio: falsas antinomias. **Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 14, n. 1, p. 26 - 44, jan./abr. 2009.

CESARO, L. *et al.* Methodology for analysing competitiveness, efficiency and economy of scale: use and applications of DEA. **FACEPA Deliverable**, n. D5.1.3, apr., 2009.

CEPEA. **Perspectivas para o agronegócio em 2015.** Piracicaba: USP, 2014.

_____. **PIB do Agronegócio no Brasil: GDP Agribusiness – Brazil Outlook**, dez., 2016.

CHARNES, Abraham; COOPER, William W.; RHODES, Edwardo. Measuring the efficiency of decision making units. **European journal of operational research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

CHEBIL, A. *et al.* Metafrontier analysis of technical efficiency of wheat farms in Sudan. **Journal of Agricultural Science**, v. 8, n. 2, p. 179-, 2016.

CHEN, Yu-Shan; CHEN, Bi-Yu. Using data envelopment analysis (DEA) to evaluate the operational performance of the wafer fabrication industry in Taiwan. **Journal of Manufacturing Technology Management**, vol. 20, n. 4, p. 475-488, 2009.

CHEN, Y. Measuring super-efficiency in DEA in the presence of infeasibility. **European Journal of Operational Research**, v. 161, p. 545–551, 2005.

CLEMENTE, F.; GOMES, M. F. M.; LÍRIO, V. S. Análise da eficiência técnica de propriedades citrícolas do estado de São Paulo. **Economia Aplicada**, v. 19, n. 1, p. 63-79, 2015.

COASE, R. H. The nature of the firm. **Economica**, v. 4, n. 16, p. 386-405, nov., 1937.

COELLI, T.; RAHMAN, S.; THIRTLE, C. Technical, allocative, cost and scale efficiencies in Bangladesh rice cultivation: a non-parametric approach. **Journal of Agricultural Economics**, v. 53, n. 3, p. 607-626, 2002.

COELLI, T. J. et al. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2. ed. New York: Springer, 2005.

CONAB. **Custos da produção agrícola: a metodologia Conab**. Brasília: Conab, 2010.

_____. **A cultura do arroz**. Brasília: Conab, 2015.

_____. **Indicadores da agropecuária**. Brasília: Conab, 2015a.

_____. **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília: Conab, 2016.

_____. **Evolução dos custos de produção do arroz no Brasil**. Brasília: Conab, 2016a.

_____. **Indicadores da agropecuária**. Brasília: Conab, 2016b.

_____. **Receita bruta dos produtores rurais brasileiros**. Brasília: Conab, 2016c.

_____. **Evolução dos custos de produção e rentabilidade do arroz irrigado gaúcho nos anos-safra 2006/07 a 2016/17**. Brasília: Conab, 2017a.

_____. **Indicadores da agropecuária**. Brasília: Conab, 2017b.

CREPALDI, S. A. **Contabilidade rural: uma abordagem decisorial**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

DAO, G. T. N. **An Analysis of the technical efficiency of crop farms in the Northern Region of Vietnam**. 2013. 182 p. Professional Doctorate in Business Administration at the University of Canberra, Canberra, 2013.

DAO, G.; LEWIS, P. Technical efficiency of annual crop farms in northern Vietnam. **Working Paper**, available at: www.murdoch.edu.au, 2013.

- DAVIS, J. H.; GOLDBERG, R. A. **A concept of agribusiness**. Boston: Harvard University, 1957.
- DEVI, K. S.; PONNARASI, T. An economic analysis of modern rice production technology and its adoption behaviour in Tamil Nadu. **Agricultural Economics Research Review**, v.22, p.341-347, 2009.
- DIEL, Fábio José *et al.* Análise da eficiência econômico-financeira das empresas pertencentes ao agronegócio brasileiro. **Contextus-Revista Contemporânea de Economia e Gestão**, v. 12, n. 2, p. 116-133, 2014.
- DHUNGANA, B. R., NUTHALL, P. L. NARTEA, G. V. Measuring the economic inefficiency of Nepalese rice farms using data envelopment analysis. **The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 48, n. 2, p. 347-369, 2004.
- DJOKOTO, J. G.; GIDIGLO, K. F. Technical efficiency in agribusiness: a meta-analysis on Ghana. **Agribusiness**, v. 32, n.3, p.397-415, 2016.
- DOLL, J. P; ORAZEM, F. **Production economics: theory with applications**. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- DOYLE, J.; GREEN, R. Efficiency and cross-efficiency in DEA: derivations, meanings and uses, **Journal of the Operational Research Society**, v. 45, n. 5, p. 567-578, 1994.
- DYSON, Robert G. *et al.* Pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 132, n. 2, p. 245-259, 2001
- EMROUZNEJAD, A.; WITTE, K. COOPER-framework: a unified process for non-parametric projects. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 3, p. 1573-1586, 2010.
- FANG, H-H. et al. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis: An alternative approach. **Omega**, v. 41, n. 4, p. 731-734, 2013.
- FAN, S. Technological change, technical and allocative efficiency in Chinese agriculture: The case of rice production in Jiangsu. **Journal of International Development**, v. 12, n. 1, p. 1, 2000.
- FARREL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.
- FAO FAOSTAT Database results. 2014. Disponível em: <<http://apps1.fao.org/servlet>>. Acesso em: 28 nov. 2016.
- FEIJÓ, C. A.; VALENTE, É. A firma na teoria econômica e como unidade de investigação estatística: evolução nas conceituações. **Revista de Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p.351-376, jul./dez. 2004.

FERREIRA, C. M.; SOUSA, I. S. F.; DEL VILLAR, P. M. **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção de arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

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

FORNAZIER, A.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Heterogeneidade estrutural na produção agropecuária: uma comparação da produtividade total dos fatores no Brasil e nos Estados Unidos**. Brasília: Ipea, 2013. (Texto para Discussão, n. 1819).

GALVEZ-NOGALES, E. Agro-based clusters in developing countries: staying competitive in a globalized economy. **Agricultural Management, Marketing and Finance**. Occasional paper. Rome, 2010.

GARCÍA SUÁREZ, Federico. La metodología Análisis Envoltente de Datos (DEA): una aplicación a la producción de arroz en Uruguay. **Agrociencia Uruguay**, v. 20, n. 1, p. 99-112, 2016.

GASQUES, J. G. *et al.* Produtividade da agricultura brasileira e os efeitos de algumas políticas. **Revista de Política Agrícola**, n. 3, 2012.

GASQUES, J. G. *et al.* **Desempenho e crescimento do agronegócio no Brasil**. IPEA, Brasília, fev. 2004.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

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

GOMES, E. G.; MANGABEIRA, J. A. C. Uso de análise envoltória de dados em agricultura: o caso de Holambra. **ENGEVISTA**, v. 6, n. 1, p. 19-27, 2004.

GOMES, E. G.; MANGABEIRA, J. A. C.; MELLO, J. C. B. S. Análise envoltória de dados para avaliação de eficiência e caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. **Revista de Economia Rural**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 607-631, out./dez., 2005.

HALL, R. E.; LIEBERMAN, M. **Microeconomia: princípios e aplicações**. Trad. Luciana Penteado Miquelino. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

HANSEN, D. R.; MOWEN, M. **Gestão de custos contabilidade e controle**. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2003.

HELFAND, S. M.; LEVINE, E. S. Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West. **Agricultural Economics**, Amsterdam, v. 31, p. 241-249, 2004.

HOFER, E. *et al.* Gestão de custos aplicada ao agronegócio: culturas temporárias. **Contabilidade Vista & Revista**, v. 17, n. 1, p. 29-46, jan./mar., 2006.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal: SIDRA**. 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em: 20 out. 2017.

ILIYASU, A. et al. Data Envelopment Analysis Models and Software Packages for Academic Purposes. **Health care**, v. 271, n. 14.9, p. 107., 2015.

IRRI. **Base de dados sobre o arroz no mundo**. 2017. Disponível em: <<http://irri.org/>>. Acesso em 20 out., 2017.

IUDÍCIBUS, S.; MARION, J. C. **Introdução à teoria da contabilidade para o nível de graduação**. São Paulo: Atlas, 2002.

IUDÍCIBUS, S.; MARTINS, E.; CARVALHO, L.. Contabilidade: aspectos relevantes da epopéia de sua evolução. **Revista Contabilidade e Finanças**, USP, São Paulo, n. 38, p. 7-19, mai./ago. 2005.

JANOVÁ, J.; VAVRINA, J.; HAMPEL, D. DEA as a tool for bankruptcy assessment: the agribusiness case study. In: Proceedings of 30th International Conference Mathematical Methods in Economics. **Anais...**, 2012.

JENSEN, M. C.; MECKLING, W. H. Theory of the firm: managerial behavior, agency cost and ownership structure. **Journal of Financial Economics**, v. 3, p. 305-360, 1976.

JOHNSON, H. T.; KAPLAN, R. S. **Relevance lost**. 1987.

KAMIYAMA, A. **Cadernos de Educação Ambiental: agricultura sustentável**. São Paulo: SMA, 2011.

KASSAI, S. **Utilização da análise envoltória de dados na análise das demonstrações contábeis**. 2002. 350 p. Tese (Doutorado em Contabilidade e Controladoria), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

KENNEDY, P. L. *et al.* Perspectives on evaluating competitiveness in agribusiness Industries. **Agribusiness**, v. 13, v. 4, p. 385–392, 1997.

KERSTENETZKY, J. **Firmas e mercados: Uma abordagem histórico-institucional ao problema da coordenação**, 1995.

KERLINGER, F. N. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual**. São Paulo: EPU, 1980.

KIATPATHOMCHAI, S. **Assessing economic and environmental efficiency of rice production systems in Southern Thailand: an application of data envelopment analysis**. 2008. Tese (Doutorado). Universitätsbibliothek Giessen, 2008.

KOČIŠOVÁ, Kristína. Application of the DEA on the measurement of efficiency in the EU countries. **Agricultural Economics**, v. 61, n. 2, p. 51-62, 2015.

KOOPMANS, T. C. Efficient allocation of resources. **Econometrica**, v.19, n.1, oct., 1951.

- LAKATOS, E.; MARCONI, M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2010.
- LAPA, J. S.; NEIVA, C. C. Avaliação em educação: comentários sobre desempenho e qualidade. **Ensaio**, v. 4, n. 12, p. 213-236, jul./set., 1996.
- LIM, S.; ZHU, J. DEA cross-efficiency evaluation under variable returns to scale. **Journal of the Operational Research Society**, v. 66, n. 3, p. 476-487, 2015.
- LOLY, J. F. M. B. **Análise de influência da utilização dos fatores da produção no aumento da produção de arroz no subdistrito de Maliana, distrito de Bobonaro em Timor-Leste**. 2014. 117 p. Dissertação (Mestrado), Universidade de Évora, 2014.
- LOPES, M.; CONTINI, E. Agricultura, sustentabilidade e tecnologia. **Revista Agroanalysis**, Fundação Getúlio Vargas, v. 32, n. 2, p. 28-34, 2012.
- LOVELL, K.C.A. Production frontiers and productive efficiency. In: **The measurement of productive efficiency: techniques and applications**. New York: Oxford University Press, 1993.
- MAINARDI, L. C. **Viabilidade de utilização de técnicas de agricultura de precisão na lavoura orizícola**. 2015. 73 p. Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Santa Maria, 2015.
- MALANA, N. M.; MALANO, H. M. Benchmarking productive efficiency of selected wheat areas in Pakistan and India using data envelopment analysis. **Irrigation and drainage**, v. 55, n. 4, p. 383-394, 2006.
- MALETIC, R.; PAUNOVIC, T.; POPOVIC, B. DEA ranking of municipalities of the Republic of Serbia based on efficiency of SMEs in agribusiness. **Industrija**, v. 43, n. 4, 2015.
- MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- MANSFIELD, E.; YOHE, G. **Microeconomia**. Trad. Cid Knipel Moreira. São Paulo: Saraiva, 2006.
- MARIANO, E. B.; ALMEIDA, M. R.; REBELATTO, D. A. N. Princípios básicos para uma proposta de ensino sobre análise por envoltória de dados. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. **Anais...** Passo Fundo: UFMA, 2006.
- MARIANO, E. B. **Sistematização e comparação de técnicas, modelos e perspectivas não-paramétricas de análise de eficiência produtiva**. 2008. 280 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2008.
- MARIANO, E. B.; SOBREIRO, V. A.; REBELATTO, D. A. N. Human development and data envelopment analysis: a structured literature review. **Omega**, v. 54, p. 33-49, 2015.
- MARION, J. C. (coord). **Contabilidade e controladoria em agrobusiness**. São Paulo: Atlas, 1996.

MARION, J. C. **Contabilidade rural**: contabilidade agrícola, contabilidade da pecuária. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MARION FILHO, P. J.; EINLOFT, N. E. A competitividade do arroz irrigado brasileiro no Mercosul. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 11-22, 2008.

MARSHALL, A. **Principles of economics**. 3. ed. London: Macmillan and Co., 1895.

MARTÍN, E. Efficiency and Quality in the Current Higher Education Context in Europe: an application of the data envelopment analysis methodology to performance assessment of departments within the University of Zaragoza. **Quality in Higher Education**, v. 12, n. 1, p. 57-79, 2006.

MARTINS, E. **Contabilidade de Custos**. 10.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MARTINS, E.; DINIZ, J.; MIRANDA, G. **Análise avançada das demonstrações contábeis**. São Paulo: Atlas, 2012.

MARTINS, G. A. THEÓPHILO, C. R. **Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas**. São Paulo: Atlas, 2007.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**. São Paulo: Atlas, 1996.

MATTOS, E; TERRA, R. Conceitos sobre eficiência. In: BOUERI, R; ROCHA, F; RODOPOULOS, F. (orgs). **Avaliação da qualidade do gasto público e mensuração da eficiência**. Brasília: Secretaria do Tesouro Nacional, 2015.

MATSUNAGA, M. *et al.* Metodologia de custo utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n.1, p. 123-39, 1976.

MCNULTY, P. On the nature and theory of economic organization: the role of the firm reconsidered, **History of Political Economy**, v. 16, n. 2, p. 233-253, 1984.

MELLO, J. C. C. B. S. et al. Curso de análise envoltória de dados. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, v. 37, Gramado, 2005.

MELLO, J. C. C. B. S.; LINS, M. P. E.; GOMES, E. G. Construction of a smoothed dea Frontier. **Pesquisa Operacional**, v.22, n. 2, p.183-201, jul./dez., 2002.

MELLO, J. C. C. B. S. et al. About negative efficiencies in cross evaluation BCC input oriented models. **European Journal of Operational Research**, v. 229, n. 3, p. 732-737, 2013.

MEZA, L. Â. *et al.* **Curso de análise de envoltória de dados**. Simpósio brasileiro de pesquisa operacional. Gramado, 2003.

MONTONERI B. *et al.* Application of data envelopment analysis on the indicators contributing to learning and teaching performance. **Teaching and Teacher Education**, v. 28, p. 382-395, 2012.

- MORAES, G. L.; BEHR, A.; FARIAS, Everton da Silveira. Contabilidade de custos no agronegócio: um estudo bibliométrico dos artigos publicados no periódico custos e @gronegócio on line. **Custos e @gronegócio on line**, v. 12, p. 71-94, dez., 2016.
- MOTA, R. H. G. *et al.* Avaliação da capacidade de geração de valor econômico: um estudo das empresas do setor agrícola com ações listadas na BM&FBovespa. **Custos e @gronegócio on line**, v. 9, n. 4, p. 19-39, out./dez., 2013.
- NARGIS, F. *et al.* Efficiency analysis of boro rice production in North-Central region of Bangladesh. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 23, n.2, p. 527-533, 2013.
- NARGIS, F.; LEE, S. H. Efficiency analysis of boro rice production in North-Central region of Bangladesh. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 23, n. 2, p. 527-533, 2013.
- NAKAO, S. H. **Contabilidade financeira no agronegócio**. São Paulo: Atlas, 2017.
- NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge, 1982.
- NEVES, M. F.; CONEJERO, M. A. Escenario para el agronegocio y una agenda para el desarrollo sustentable. In: VILELLA, F; NEVES, M.F.; SENESI, S.; PALAU, H. **Agronegocio en Argentina y Brasil: una estrategia conjunta y una visión a futuro**. Buenos Aires: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 2007. 224 p.
- NICOLELI, M.; MOLLER, H. D. Análise da competitividade dos custos do café orgânico sombreado irrigado. **Custos e Agronegócio Online**, Recife, v. 2, n. 1, p. 29-44, 2006.
- NOGUEIRA, M. A. **Eficiência técnica na agropecuária das microrregiões brasileiras**. 2005. 105 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- NORTH, D. **Institutions, institutional change and economic performance**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- NORTH, D. Institutions. **The Journal of Economic Perspectives**, v. 5, n. 1, p. 97-112, 1991.
- NUINTIN, A. A.; CURI, M. A.; SANTOS, A. C. Caracterização e análise das transações resultantes da contratação de mão de obra na atividade cafeeira sob a ótica da Economia dos custos de transação. **Custos e Agronegócio**, v. 8, n. 3, jul./set., 2012.
- NUNES, J. L. S. **Plantio**. 2016. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/plantio_361563.html>. Acesso em 10 out., 2017.
- OECD/FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2015**, OECD Publishing, Paris. 2015 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-en>. Acesso em: 20 abr., 2017.
- OGUNDARI, K.; AMOS, T. T.; OKORUWA, V. O. A Review of Nigerian Agricultural Efficiency Literature, 1999–2011: What Does One Learn from Frontier Studies?. **African Development Review**, v. 24, n. 1, p. 93-106, 2012.

OLIVEIRA, N. C. **Contabilidade do agronegócio: teoria e prática**. Curitiba: Juruá, 2009.

OLIVEIRA, M. D. M.; NACHILUK, K. Custo de produção de cana-de-açúcar nos diferentes sistemas de produção nas regiões do Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 41, n. 1, p.5-33, jan., 2011.

OLIVEIRA, A. L. R. *et al.* A logística do agronegócio: para além do apagão logístico. In: BUAINAIN, A. M *et al.* (orgs.). **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília: Embrapa, 2014.

OMONONONA, B. T.; EGBETOKUN, O. A; AKANBI, A.T. Farmers Resource: use and technical efficiency in cowpea production In Nigeria. **Economic Analysis and Policy**, v. 40, n. 1, p. 102-110, 2010.

PACHIEL, M.G. **Eficiência produtiva de usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo**. 2009. ??p. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

PEREIRA, B. D.; MENDES, C. M. Eficiência técnica: Arroz de Sequeiro. **Revista de Estudos Sociais**, v. 4, n. 8, p. 37-51, 2002.

PEREIRA, N. A. **Avaliação da eficiência das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar por meio da análise envoltória de dados (DEA)**. 2014. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

PEREIRA, N. A.; MOURA, M. F. de. Custos no agronegócio: um estudo bibliométrico dos anos de 2003 a 2013. In: Congresso Brasileiro de Custos, XX., 2013, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013.

PENROSE, E. **A teoria do crescimento da firma**. Trad. Tamás Szmeccsányi. Campinas: Unicamp, 2006.

PÉRICO, A. E.; SANTANA, N. B.; REBELATTO, D. A. N. Estimating the efficiency from Brazilian banks: a bootstrapped Data Envelopment Analysis (DEA). **Production**, v. 26, n. 3, p. 551-561, 2016.

PETRINI, J. A.; VERNETTI JUNIOR, F. J. Manejo do solo e sistema de plantio. EMBRAPA, 2017. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fojvokoc02wyiv80bhgp5p3txf7t9.html>>. Acesso em: 10 out., 2017.

PFITSCHER, E. D. **Gestão e sustentabilidade através da contabilidade e controladoria ambiental: estudo de caso na cadeia produtiva de arroz ecológico**. 2004. 252 p. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Tese de Doutorado. 2004.

PINDYCK, R; RUBINFELD, D. **Microeconomia**. Trad. Eleutério Prado, Thelma Guimarães e Luciana do Amaral Teixeira. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

RAINERI, C.; ROJAS, O. A. O.; GAMEIRO, A. H. Custos de produção na agropecuária: da teoria econômica à aplicação no campo. **Empreendedorismo, Gestão e Negócios**, v. 4, p. 194-211, abr., 2015.

RAMÓN, N.; RUIZ, J.L.; SIRVENT, I. Reducing differences between profiles of weights: a 'peer-restricted' cross-efficiency evaluation. **Omega**, v. 39, n. 6, p. 634-641, 2011.

RAUPP, S. W. *et al.* O processo de implementação da gestão estratégica de custos em uma empresa estatal de energia elétrica. **Revista Eletrônica Estratégia e Negócios**, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 137-166, jan./abr. 2012.

RESENDE, O., COSTA, C. C., & FERREIRA, M. A. Análise de desempenho relativo do estado no provimento da segurança pública em Minas Gerais. XIV SEMEAD - Seminários em Administração. **Anais...** p. 1-16, out., 2011.

REZENDE, M. S.; LEAL, E. A.; MACHADO, R. P. Custos no agronegócio: um estudo bibliométrico: 20 Anos de Publicações no Congresso Brasileiro de Custos. **Custos e @gronegócio on line**, v. 11, n. 1, p. 222-244, jan./mar., 2015.

RODRIGUES, R. M. **O mercado de trabalho no agronegócio brasileiro e paulista entre 2012 e 2016: dinâmicas semelhantes?**. 2017. 155 f. Dissertação (MPAGRO) - Escola de Economia de São Paulo, 2017.

SÁ, A. L. **Luca Pacioli: um Mestre do Renascimento**. Brasília: Fundação Brasileira de Contabilidade, 2004.

SANTILLI, J. **Agrobiodiversidade e direitos dos agricultores**. São Paulo: Peirópolis, 2009.

SANTOS, J. G. C.; CALÍOPE, T. S.; COELHO, A. C. Teorias da firma como fundamento para formulação de teorias contábeis. **REPeC**, Brasília, v. 9, n. 1, art. 6, p. 101-116, jan./mar. 2015.

SANTOS, G. J.; MARION, J. C. **Administração de custos na agropecuária**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

SENRA, L. F. A. C. *et al.* Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 2, p. 191-207, 2007.

SHANK, J. K.; GOVINDARAJAN, V. Strategic cost management: tailoring controls to strategies. **Journal of Cost Management**, v. 6, n. 3, p. 14-25, 1992.

SHANK, J. K.; GOVINDARAJAN, V. **A revolução dos custos: como reinventar e redefinir sua estratégia de custos para vencer em mercados crescentemente competitivos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1997.

SIMAR, L.; WILSON, P. W. Estimation and inference in nonparametric frontier models: recent developments and perspectives. **Foundations and Trends® in Econometrics**, v. 5, n. 3-4, p. 183-337, 2013.

- SIMMONDS, K. Strategic management accounting for pricing: a case example. **Accounting and Business Research**, v. 12, n. 47, p. 206-214, 1982.
- SIMONSEN, M. H. **Teoria microeconômica**: teoria do consumidor, teoria da produção. 7. ed. Rio de Janeiro: FGV, 1985.
- SILVA FILHO, E. B. S. A teoria da firma e a abordagem dos custos de transação: elementos para uma crítica institucionalista. **Pesquisa & Debate**, v. 17, n. 2, p. 259-277, 2006.
- SILVA, R. O. **Teorias da administração**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.
- SILVA, T. P.; GUSE, J. C.; LEITE, M. Gastos operacionais e o desempenho econômico no agronegócio brasileiro, chileno e mexicano. **Custos e @gronegócio on line**, v. 11, n. 4, p. 234-263, out./dez., 2015.
- SLACK, N. *et al.* **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1999.
- SOARES, T. C.; JACOMETTI, M. Estratégias que agregam valor nos segmentos do agronegócio no Brasil: um estudo descritivo. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, Florianópolis, v. 8, n. 3, set./dez. 2015.
- SOARES, A. F. O.; MORAES, T. R. Sistemas de plantio do arroz. GEAGRA, UFG, 2016. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/GeagraUFG/sistemas-de-plantio-do-arroz>>. Acesso em: 10 out. 2017.
- SOSBAI. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Porto Alegre, RS, 2010. 188 p.
- SOUZA, D. P. H. **Avaliação de métodos paramétricos e não paramétricos na análise da eficiência da produção de leite**. 2003. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2003.
- SOUZA, W. A. R. *et al.* Análise do potencial econômico para mercados futuros de arroz do Mercosul. **Sociedade, Contabilidade e Gestão**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, maio/ago. 2015.
- SOUZA, M. A.; HEINEN, A. C. Práticas de gestão estratégica de custos: uma análise de estudos empíricos internacionais. **Contabilidade, Gestão e Governança**, Brasília, v. 15, n. 2, p. 23-40, maio/ago., 2012.
- SOUZA, M. A.; RASIA, K. A. Custos no agronegócio: um perfil dos artigos publicados nos anais do Congresso Brasileiro de Custos no período de 1998 a 2008. **Contabilidade, Gestão e Governança**, v. 14, n. 1, p. 69-81, Brasília, jan./abr., 2011.
- SOUZA, F. J. V. *et al.* Perfil dos artigos sobre agronegócio publicados nos periódicos de contabilidade com estrato CAPES. **Contexto**, Porto Alegre, v. 12, n. 22, p. 87-102, 2. sem. 2012.
- SOWLATI, T. **Establishing the practical frontier in data envelopment analysis**. Center for Management of Technology and Entrepreneurship Faculty of Applied Science and Engineering. University of Toronto. 2001.

SURCO, D. F. **Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para avaliação de eficiência técnica baseada em DEA**. 2004. 129f. Dissertação (Mestrado em Métodos numéricos em engenharia). Universidade Federal Paraná, Curitiba. 2004.

SZTAJN, R. **Teoria jurídica da empresa: atividade empresária e mercados**. São Paulo: Atlas, 2004.

RASIA, K. A. *et al.* Gestão de custos de cadeias de produção do agronegócio: análise sobre publicações em congressos e periódicos científicos. **Custos e @gronegócio on line**, v. 7, n. 3, p. 21-39, set./dez., 2011.

TARAKA, K.; LATIF, I. A.; SHAMSUDIN, M. N. A nonparametric approach to evaluate technical efficiency of rice farms in Central Thailand. **Chulalongkorn Journal of Economics**, v. 22, p. 1-14, 2010.

THANASSOULIS, E.; BOUSSOFIANE, A.; DYSON, R. G. A comparison of data envelopment analysis and ratio analysis as tools for performance assessment. **Omega**, v. 24, n. 3, p. 229-244, 1996.

THANHNGUYEN, T.; HOANG, V-N.; SEO, B. Cost and environmental efficiency of rice farms in South Korea. **Agricultural Economics**, v. 43, n. 4, p. 369-378, 2012.

THOMPSON, R. G.; DHARMAPALA, P. S.; THRALL, R. M. Importance for DEA of zeros in data, multipliers, and solutions. **Journal of Productivity Analysis**, v. 4, n. 4, p. 379-390, 1993.

TIGRE, P. B. Paradigmas tecnológicos e teorias econômicas da firma. **Revista Brasileira de inovação**, v. 4, n. 1, jan./jun., 2005.

TULKENS, H. EACKAUT, P. V.. Nonparametric efficiency, progress and regress measures for panel-data-methodological aspects. **European Journal of Operational Research**, v. 80, p. 474-499, 1995.

TUN, YuYu; KANG, Hye-Jung. An analysis on the factors affecting rice production efficiency in Myanmar. **Journal of East Asian Economic Integration**. v. 19, n. 2, p. 167-188, jun., 2015.

TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. Eficiência e produtividade: conceitos e medição. Agricultura em São Paulo, **Embrapa**, v.45, n.2, p.39-51,1998.

TU, V. H.; TRANG, N. T. Cost efficiency of rice production in Vietnam: an application of stochastic translog variable cost frontier. **Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2016.

TZIOGKIDIS, Panagiotis. Bootstrap DEA and hypothesis testing. **Cardiff Economics Working Papers**, 2012.

USDA. **Rice: world markets and trade**. Office of global analysis, oct., 2017.

VASCONCELLOS, M. A. S.; GARCIA, M. E. **Fundamentos de economia**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

VIANA, J. G. A.; SILVEIRA, V. C. P. Production costs and performance indicators: a methodology applied to sheep production systems. **Custos e @gronegocio on line**, v. 4, n. 3, p. 2-27, 2008.

VIEIRA, E.P.; MACIEL, E. R.; RIBAS, M. Relevância da gestão de custos e sua efetividade no sistema de informações contábil gerencial. **ConTexto**, v. 9, n. 16, 2009.

VIEIRA FILHO, J. E. *et al.* (Orgs.). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: IPEA, 2016.

WANDER, A. E. A competitividade do agronegócio brasileiro de arroz. **Custos e @gronegocio on line**, v. 2, n. 1, p. 2-15, 2006.

WANDER, A. E.; DA SILVA, O. F. **Rentabilidade da produção de arroz no Brasil**. Embrapa Arroz e Feijão, Brasília, 2014.

WANG, Chia-Nan. *et al.* Applying data envelopment analysis and grey model for the productivity evaluation of vietnamese agroforestry industry. **Sustainability**, v. 8, n. 1139, p. 1-15, 2016.

WATKINS, K. B. *et al.* Measuring Technical, Allocative, and Economic Efficiency of Rice Production in Arkansas using Data Envelopment Analysis. In: **Annual Meeting**, p. 2-5, feb., 2013.

WATTO M. A.; MUGERA, A. W. Measuring production and irrigation efficiencies of rice farms: evidence from the Punjab Province, Pakistan. **Asian Economic Journal**, v. 28, n. 3, p. 301-322, 2014.

WILLIAMSON, O. E. The economics of organization: the transaction cost approach. **American Journal of Sociology**, v. 87, n. 3, p. 548-577, 1981.

_____. Revisiting legal realism: the law, economics and organization perspective. **Industrial and Corporate Change**, v. 5, n. 2, p. 383-420, 1996.

_____. The new institutional economics: taking stock, looking ahead. **Journal of Economic Literature**, v. 38, p. 595-613, sep., 2000.

WONGNAA, C. A. **Economic efficiency and productivity of maize farmers in Ghana**. 2016. 199 p. Thesis (Doctor). Department of Agricultural Economics, Agribusiness and Extension, Faculty of Agriculture, Kumasi, 2016.

WU, J.; LIANG, L.; CHEN, Y. DEA game cross-efficiency approach to olympic rankings. **Omega**, v. 37, n. 4, p. 909-918, 2009.

YANG, Z. A two-stage DEA model to evaluate the overall performance of Canadian life and health insurance companies. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 43, p. 910-919, set., 2006.

ZYLBERSZTAJN, D. **Estruturas de governança e coordenação do *agribusiness***: uma aplicação da nova economia das instituições. Tese (Doutorado). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, 1995.

APÊNDICE A – Matriz de coeficientes de correlação de Person das variáveis de custo* e produção** do arroz no Brasil

	OPAVI	OPMAQ	ALMAG	MDOTP	MODFX	SEMS	FERTS	AGRFX	AGUA	OUTSERV	TREXT	DESPAD	DESPAR	SEGPRO	ASTEC	CESSR/CDC	JUROS	DPBFT	DPIMP	DPMAQ	MANPBI	ENCSCO	SEGCF	REDCF	TERP	ARROZ
OPAVI	1,000																									
OPMAQ	0,831	1,000																								
ALMAG	0,785	0,703	1,000																							
MDOTP	0,699	0,759	0,532	1,000																						
MODFX	0,263	0,317	0,108	0,386	1,000																					
SEMS	0,148	0,067	0,108	-0,008	-0,095	1,000																				
FERTS	0,272	0,383	0,523	0,116	-0,218	0,292	1,000																			
AGRFX	0,609	0,591	0,468	0,658	0,120	0,474	0,527	1,000																		
AGUA	0,610	0,628	0,364	0,630	0,571	0,055	-0,198	0,214	1,000																	
OUTSERV	0,437	0,196	0,284	0,216	0,070	-0,136	0,091	0,105	0,281	1,000																
TREXT	0,844	0,788	0,662	0,696	0,360	0,231	0,280	0,515	0,781	0,469	1,000															
DESPAD	0,855	0,798	0,658	0,759	0,414	0,302	0,123	0,608	0,696	0,373	0,846	1,000														
DESPAR	0,748	0,758	0,587	0,660	0,406	0,296	0,118	0,492	0,772	0,052	0,806	0,824	1,000													
SEGPRO	0,442	0,603	0,264	0,825	0,300	-0,010	0,192	0,717	0,397	0,103	0,406	0,515	0,388	1,000												
ASTEC	0,646	0,602	0,337	0,848	0,509	0,235	-0,063	0,676	0,778	0,240	0,709	0,768	0,726	0,742	1,000											
CESSR/C	0,769	0,798	0,579	0,805	0,381	0,020	0,256	0,633	0,757	0,368	0,799	0,678	0,726	0,668	0,817	1,000										
JUROS	0,668	0,562	0,525	0,708	0,625	0,166	-0,020	0,515	0,635	0,212	0,636	0,754	0,594	0,578	0,767	0,565	1,000									
DPBFT	-0,469	-0,507	-0,371	-0,421	-0,439	0,515	0,118	-0,026	-0,462	-0,138	-0,311	-0,425	-0,452	-0,280	-0,316	-0,426	-0,379	1,000								
DPIMP	0,506	0,765	0,349	0,592	0,556	-0,003	0,091	0,404	0,629	0,174	0,559	0,599	0,454	0,575	0,580	0,655	0,562	-0,340	1,000							
DPMAQ	0,623	0,823	0,371	0,745	0,390	0,112	0,071	0,487	0,748	0,116	0,742	0,734	0,731	0,648	0,734	0,744	0,516	-0,346	0,772	1,000						
MANPBI	-0,034	-0,060	-0,142	-0,213	0,058	-0,170	-0,503	-0,467	0,151	0,055	-0,083	0,065	0,023	-0,394	-0,135	-0,247	-0,022	-0,288	0,029	0,047	1,000					
ENCSCO	0,297	0,441	0,128	0,509	0,710	-0,086	0,099	0,397	0,501	0,275	0,443	0,390	0,304	0,549	0,564	0,619	0,359	-0,285	0,665	0,531	-0,304	1,000				
SEGCF	0,639	0,846	0,367	0,750	0,472	0,090	0,018	0,473	0,764	0,097	0,703	0,731	0,693	0,661	0,739	0,739	0,617	-0,368	0,881	0,956	0,061	0,534	1,000			
REDCF	0,644	0,852	0,420	0,775	0,431	0,120	0,117	0,569	0,685	0,084	0,672	0,733	0,642	0,731	0,731	0,714	0,676	-0,344	0,873	0,912	0,029	0,503	0,968	1,000		
TERP	0,319	0,242	0,168	0,522	0,394	0,142	-0,070	0,446	0,415	0,240	0,472	0,554	0,488	0,364	0,659	0,425	0,465	-0,247	0,150	0,354	0,051	0,355	0,253	0,254	1,000	
ARROZ	0,849	0,797	0,660	0,722	0,388	0,334	0,173	0,588	0,798	0,278	0,897	0,907	0,956	0,440	0,793	0,811	0,643	-0,405	0,525	0,753	-0,022	0,394	0,718	0,676	0,531	1,000

Fonte: Dados da Pesquisa

* Todas as variáveis de custos listadas estavam disponíveis para compor o modelo DEA, a seleção dos seis inputs levou em consideração a existência de coeficientes de correlação $>0,7$ entre as variáveis, a disponibilidade de dados dos volumes dos insumos consumidos para viabilizar os cálculos das eficiências alocativa e de custos.

** Também adotou-se como critério para seleção das variáveis representativas dos custos de produção, a existência de correlação positiva com o output (produtividade do arroz), as variáveis que apresentaram correlação negativa foram sumariamente eliminadas.

APÊNDICE B – Matriz inicial de eficiência cruzada, modelo BCC/orientado a *inputs*

DMU	BS1	BS2	BS3	BS4	BS5	BS6	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5	CS6	PE1	PE2	PE3	PE4	PE5	PE6	SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	UR1	UR2	UR3	UR4	UR5	UR6
BS1	100,00	100,00	100,00	97,40	100,00	83,66	96,24	92,45	96,67	84,12	73,63	76,01	91,49	93,77	100,00	97,60	81,66	88,08	92,37	85,91	84,65	72,08	64,95	72,17	97,66	92,32	98,13	98,42	79,71	86,55
BS2	98,13	100,00	100,00	96,09	100,00	86,64	94,86	90,39	92,82	89,08	72,25	76,11	86,04	90,73	95,45	95,86	78,68	86,27	81,20	74,92	73,80	63,98	57,41	64,58	87,37	81,90	86,64	100,00	78,11	87,84
BS3	98,13	100,00	100,00	96,09	100,00	86,64	94,86	90,39	92,82	89,08	72,25	76,11	86,04	90,73	95,45	95,86	78,68	86,27	81,20	74,92	73,80	63,98	57,41	64,58	87,37	81,90	86,64	100,00	78,11	87,84
BS4	100,00	95,59	100,00	100,00	100,00	77,87	94,98	91,54	94,88	75,19	63,29	63,37	90,28	88,28	96,67	86,71	73,91	76,61	100,00	91,93	91,54	75,55	66,95	73,89	98,54	94,88	100,00	87,11	69,88	71,86
BS5	98,13	100,00	100,00	96,09	100,00	86,64	94,86	90,39	92,82	89,08	72,25	76,11	86,04	90,73	95,45	95,86	78,68	86,27	81,20	74,92	73,80	63,98	57,41	64,58	87,37	81,90	86,64	100,00	78,11	87,84
BS6	98,41	100,00	100,00	100,00	100,00	92,33	46,10	47,06	46,67	40,46	37,85	39,89	42,83	48,27	52,62	49,40	39,46	45,15	89,83	91,87	92,62	68,22	64,61	67,15	49,64	51,57	57,89	47,37	38,68	44,66
CS1	92,29	76,82	87,05	88,88	82,06	50,39	100,00	97,10	100,00	68,47	49,76	48,08	96,50	87,38	91,97	76,35	66,87	65,43	100,00	84,43	86,74	70,59	58,58	66,26	100,00	97,68	100,00	76,13	59,59	57,07
CS2	100,00	82,80	92,54	93,60	84,54	55,80	100,00	100,00	100,00	67,95	46,15	44,57	96,88	89,81	91,21	75,50	66,09	64,63	99,97	84,48	88,04	69,88	57,65	64,93	97,18	97,67	100,00	74,75	57,70	55,36
CS3	92,29	76,82	87,05	88,88	82,06	50,39	100,00	97,10	100,00	68,47	49,76	48,08	96,50	87,38	91,97	76,35	66,87	65,43	100,00	84,43	86,74	70,59	58,58	66,26	100,00	97,68	100,00	76,13	59,59	57,07
CS4	97,32	99,88	100,00	92,75	95,44	86,13	100,00	93,01	96,58	92,55	73,97	78,90	93,82	94,64	92,78	99,31	81,83	89,23	80,74	71,94	71,19	64,39	56,99	66,05	91,16	81,58	86,31	100,00	80,84	90,00
CS5	98,96	99,34	100,00	95,66	97,92	83,44	100,00	94,86	99,24	87,17	75,17	77,99	95,72	96,17	99,90	100,00	83,81	90,06	90,81	82,78	81,68	71,44	63,83	72,14	100,00	92,40	98,06	100,00	81,77	88,41
CS6	97,81	100,00	99,86	93,00	95,48	85,46	100,00	93,48	97,60	91,09	74,46	78,98	94,96	95,57	94,31	100,00	82,77	90,01	83,10	74,27	73,48	66,12	58,62	67,67	93,71	84,28	89,27	100,00	81,42	90,02
PE1	97,41	85,82	92,77	89,09	82,32	61,54	100,00	98,04	100,00	68,99	48,94	47,85	100,00	90,94	89,56	78,20	68,28	67,38	100,00	83,31	86,11	72,25	59,93	69,11	100,00	96,84	100,00	75,72	60,16	58,16
PE2	100,00	99,90	99,88	95,53	97,11	83,01	100,00	96,13	100,00	86,36	71,94	74,36	96,79	98,12	100,00	100,00	83,97	90,09	91,60	83,50	82,73	71,71	63,93	72,08	100,00	93,61	99,37	99,12	80,70	86,96
PE3	50,52	39,12	46,00	52,85	53,19	18,37	100,00	96,75	100,00	74,63	56,64	54,50	94,47	89,48	100,00	84,13	74,05	73,31	71,13	64,90	63,59	52,77	45,63	49,54	100,00	97,80	100,00	87,49	67,76	66,02
PE4	99,83	100,00	97,48	93,91	95,79	81,21	96,77	93,40	99,50	84,13	73,48	76,04	94,94	97,19	100,00	100,00	83,80	90,58	92,88	85,65	84,62	72,37	65,02	72,68	100,00	94,12	100,00	98,86	80,99	87,80
PE5	-9,85	-15,93	-20,58	-12,11	-10,63	-37,65	100,00	90,94	60,46	78,81	63,40	58,51	85,35	75,16	92,46	99,15	100,00	97,11	22,21	21,57	18,69	21,90	19,53	20,28	97,92	86,30	100,00	100,00	99,91	95,94
PE6	27,06	22,54	42,07	45,34	45,80	23,35	100,00	93,57	59,73	83,97	65,04	62,67	80,18	76,11	93,17	99,38	95,53	97,17	49,34	47,72	45,81	46,64	42,54	46,23	91,97	84,19	100,00	100,00	97,18	100,00
SR1	92,29	76,82	87,05	88,88	82,06	50,39	100,00	97,10	100,00	68,47	49,76	48,08	96,50	87,38	91,97	76,35	66,87	65,43	100,00	84,43	86,74	70,59	58,58	66,26	100,00	97,68	100,00	76,13	59,59	57,07
SR2	97,84	95,19	93,54	97,40	100,00	76,44	84,63	83,83	88,32	71,90	67,37	67,98	81,11	85,44	97,78	88,60	74,63	80,43	100,00	100,00	98,22	75,48	70,04	73,30	93,12	93,41	100,00	89,72	72,35	77,84
SR3	100,00	96,62	96,94	99,92	100,00	80,45	78,19	79,51	80,19	65,31	56,56	56,99	75,36	80,96	89,06	81,03	68,29	73,65	100,00	100,00	100,00	75,16	69,36	72,41	84,83	87,48	94,68	80,14	64,51	69,31
SR4	45,44	37,97	98,77	100,00	87,31	58,07	84,51	78,04	55,67	57,99	51,77	49,55	72,69	62,82	76,10	71,01	66,05	65,17	100,00	92,20	93,59	100,00	89,07	100,00	91,66	83,43	100,00	66,88	63,94	61,33
SR5	6,30	3,90	63,13	84,83	46,56	5,44	79,99	71,90	20,22	49,99	33,27	29,46	41,41	34,46	51,99	61,73	79,12	71,00	33,93	36,46	36,03	90,52	100,00	100,00	60,46	53,65	100,00	53,80	91,46	80,68
SR6	65,20	61,20	100,00	89,02	82,36	74,18	87,94	80,69	62,39	62,65	56,49	56,50	84,59	72,09	74,43	79,97	73,16	74,34	100,00	85,29	86,76	94,16	81,94	100,00	98,56	84,06	100,00	69,89	70,10	69,13
UR1	92,29	76,82	87,05	88,88	82,06	50,39	100,00	97,10	100,00	68,47	49,76	48,08	96,50	87,38	91,97	76,35	66,87	65,43	100,00	84,43	86,74	70,59	58,58	66,26	100,00	97,68	100,00	76,13	59,59	57,07
UR2	-34,14	-52,51	-40,15	-23,17	-18,22	-72,96	97,09	96,91	100,00	62,53	42,97	39,44	100,00	88,58	91,12	74,55	68,74	64,37	42,17	36,49	34,30	30,50	24,75	26,05	100,00	100,00	100,00	74,80	58,64	52,87
UR3	92,29	76,82	87,05	88,88	82,06	50,39	100,00	97,10	100,00	68,47	49,76	48,08	96,50	87,38	91,97	76,35	66,87	65,43	100,00	84,43	86,74	70,59	58,58	66,26	100,00	97,68	100,00	76,13	59,59	57,07
UR4	98,92	99,25	100,00	95,75	98,02	83,40	100,00	94,88	99,20	87,14	75,14	77,93	95,62	96,09	100,00	99,92	83,75	89,96	90,85	82,87	81,76	71,46	63,85	72,12	100,00	92,47	98,13	100,00	81,71	88,33
UR5	-4,59	-9,98	-12,77	-5,07	-3,63	-31,17	93,31	88,04	53,19	76,92	60,69	55,74	74,47	69,73	92,67	96,61	97,75	97,05	25,32	25,93	23,00	25,42	23,43	23,56	89,15	83,09	100,00	100,00	100,00	100,00
UR6	67,06	64,05	100,00	99,48	100,00	81,46	98,74	95,00	65,48	87,45	68,40	68,86	79,33	80,98	95,41	99,84	89,53	95,80	78,08	75,67	74,55	70,16	64,50	70,52	89,45	84,83	100,00	100,00	91,17	100,00
Média	75,18	69,63	79,49	80,26	77,99	55,39	94,10	90,22	85,15	74,90	60,07	60,16	86,76	83,79	90,58	86,40	76,22	78,57	82,60	75,06	74,94	66,77	59,41	65,90	92,90	88,14	96,06	86,16	73,43	75,67

Fonte: Dados da pesquisa

Nota: As linhas destacadas em amarelo apresentaram escores negativos, com base em indicações da literatura DEA optou-se por excluí-las antes do cálculo do escore médio de cada DMU para poder elaborar o *ranking* de eficiência das DMUs.

APÊNDICE C – Matriz final de eficiência cruzada, modelo BCC/orientado a inputs

DMU	BS1	BS2	BS3	BS4	BS5	BS6	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5	CS6	PE1	PE2	PE3	PE4	PE5	PE6	SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	UR1	UR2	UR3	UR4	UR5	UR6
BS1	1,000	1,000	1,000	0,974	1,000	0,837	0,962	0,925	0,967	0,841	0,736	0,760	0,915	0,938	1,000	0,976	0,817	0,881	0,924	0,859	0,847	0,721	0,650	0,722	0,977	0,923	0,981	0,984	0,797	0,866
BS2	0,981	1,000	1,000	0,961	1,000	0,866	0,949	0,904	0,928	0,891	0,723	0,761	0,860	0,907	0,955	0,959	0,787	0,863	0,812	0,749	0,738	0,640	0,574	0,646	0,874	0,819	0,866	1,000	0,781	0,878
BS3	0,981	1,000	1,000	0,961	1,000	0,866	0,949	0,904	0,928	0,891	0,723	0,761	0,860	0,907	0,955	0,959	0,787	0,863	0,812	0,749	0,738	0,640	0,574	0,646	0,874	0,819	0,866	1,000	0,781	0,878
BS4	1,000	0,956	1,000	1,000	1,000	0,779	0,950	0,915	0,949	0,752	0,633	0,634	0,903	0,883	0,967	0,867	0,739	0,766	1,000	0,919	0,915	0,756	0,670	0,739	0,985	0,949	1,000	0,871	0,699	0,719
BS5	0,981	1,000	1,000	0,961	1,000	0,866	0,949	0,904	0,928	0,891	0,723	0,761	0,860	0,907	0,955	0,959	0,787	0,863	0,812	0,749	0,738	0,640	0,574	0,646	0,874	0,819	0,866	1,000	0,781	0,878
BS6	0,984	1,000	1,000	1,000	1,000	0,923	0,461	0,471	0,467	0,405	0,379	0,399	0,428	0,483	0,526	0,494	0,395	0,452	0,898	0,919	0,926	0,682	0,646	0,672	0,496	0,516	0,579	0,474	0,387	0,447
CS1	0,923	0,768	0,871	0,889	0,821	0,504	1,000	0,971	1,000	0,685	0,498	0,481	0,965	0,874	0,920	0,764	0,669	0,654	1,000	0,844	0,867	0,706	0,586	0,663	1,000	0,977	1,000	0,761	0,596	0,571
CS2	1,000	0,828	0,925	0,936	0,845	0,558	1,000	1,000	1,000	0,680	0,462	0,446	0,969	0,898	0,912	0,755	0,661	0,646	1,000	0,845	0,880	0,699	0,577	0,649	0,972	0,977	1,000	0,748	0,577	0,554
CS3	0,923	0,768	0,871	0,889	0,821	0,504	1,000	0,971	1,000	0,685	0,498	0,481	0,965	0,874	0,920	0,764	0,669	0,654	1,000	0,844	0,867	0,706	0,586	0,663	1,000	0,977	1,000	0,761	0,596	0,571
CS4	0,973	0,999	1,000	0,928	0,954	0,861	1,000	0,930	0,966	0,926	0,740	0,789	0,938	0,946	0,928	0,993	0,818	0,892	0,807	0,719	0,712	0,644	0,570	0,661	0,912	0,816	0,863	1,000	0,808	0,900
CS5	0,990	0,993	1,000	0,957	0,979	0,834	1,000	0,949	0,992	0,872	0,752	0,780	0,957	0,962	0,999	1,000	0,838	0,901	0,908	0,828	0,817	0,714	0,638	0,721	1,000	0,924	0,981	1,000	0,818	0,884
CS6	0,978	1,000	0,999	0,930	0,955	0,855	1,000	0,935	0,976	0,911	0,745	0,790	0,950	0,956	0,943	1,000	0,828	0,900	0,831	0,743	0,735	0,661	0,586	0,677	0,937	0,843	0,893	1,000	0,814	0,900
PE1	0,974	0,858	0,928	0,891	0,823	0,615	1,000	0,980	1,000	0,690	0,489	0,479	1,000	0,909	0,896	0,782	0,683	0,674	1,000	0,833	0,861	0,723	0,599	0,691	1,000	0,968	1,000	0,757	0,602	0,582
PE2	1,000	0,999	0,999	0,955	0,971	0,830	1,000	0,961	1,000	0,864	0,719	0,744	0,968	0,981	1,000	1,000	0,840	0,901	0,916	0,835	0,827	0,717	0,639	0,721	1,000	0,936	0,994	0,991	0,807	0,870
PE3	0,505	0,391	0,460	0,529	0,532	0,184	1,000	0,968	1,000	0,746	0,566	0,545	0,945	0,895	1,000	0,841	0,741	0,733	0,711	0,649	0,636	0,528	0,456	0,495	1,000	0,978	1,000	0,875	0,678	0,660
PE4	0,998	1,000	0,975	0,939	0,958	0,812	0,968	0,934	0,995	0,841	0,735	0,760	0,949	0,972	1,000	1,000	0,838	0,906	0,929	0,857	0,846	0,724	0,650	0,727	1,000	0,941	1,000	0,989	0,810	0,878
PE6	0,271	0,225	0,421	0,453	0,458	0,234	1,000	0,936	0,597	0,840	0,650	0,627	0,802	0,761	0,932	0,994	0,955	0,972	0,493	0,477	0,458	0,466	0,425	0,462	0,920	0,842	1,000	1,000	0,972	1,000
SR1	0,923	0,768	0,871	0,889	0,821	0,504	1,000	0,971	1,000	0,685	0,498	0,481	0,965	0,874	0,920	0,764	0,669	0,654	1,000	0,844	0,867	0,706	0,586	0,663	1,000	0,977	1,000	0,761	0,596	0,571
SR2	0,978	0,952	0,935	0,974	1,000	0,764	0,846	0,838	0,883	0,719	0,674	0,680	0,811	0,854	0,978	0,886	0,746	0,804	1,000	1,000	0,982	0,755	0,700	0,733	0,931	0,934	1,000	0,897	0,724	0,778
SR3	1,000	0,966	0,969	0,999	1,000	0,805	0,782	0,795	0,802	0,653	0,566	0,570	0,754	0,810	0,891	0,810	0,683	0,737	1,000	1,000	1,000	0,752	0,694	0,724	0,848	0,875	0,947	0,801	0,645	0,693
SR4	0,454	0,380	0,988	1,000	0,873	0,581	0,845	0,780	0,557	0,580	0,518	0,496	0,727	0,628	0,761	0,710	0,661	0,652	1,000	0,922	0,936	1,000	0,891	1,000	0,917	0,834	1,000	0,669	0,639	0,613
SR5	0,063	0,039	0,631	0,848	0,466	0,054	0,800	0,719	0,202	0,500	0,333	0,295	0,414	0,345	0,520	0,617	0,791	0,710	0,339	0,365	0,360	0,905	1,000	1,000	0,605	0,537	1,000	0,538	0,915	0,807
SR6	0,652	0,612	1,000	0,890	0,824	0,742	0,879	0,807	0,624	0,627	0,565	0,565	0,846	0,721	0,744	0,800	0,732	0,743	1,000	0,853	0,868	0,942	0,819	1,000	0,986	0,841	1,000	0,699	0,701	0,691
UR1	0,923	0,768	0,871	0,889	0,821	0,504	1,000	0,971	1,000	0,685	0,498	0,481	0,965	0,874	0,920	0,764	0,669	0,654	1,000	0,844	0,867	0,706	0,586	0,663	1,000	0,977	1,000	0,761	0,596	0,571
UR3	0,923	0,768	0,871	0,889	0,821	0,504	1,000	0,971	1,000	0,685	0,498	0,481	0,965	0,874	0,920	0,764	0,669	0,654	1,000	0,844	0,867	0,706	0,586	0,663	1,000	0,977	1,000	0,761	0,596	0,571
UR4	0,989	0,993	1,000	0,958	0,980	0,834	1,000	0,949	0,992	0,871	0,751	0,779	0,956	0,961	1,000	0,999	0,838	0,900	0,909	0,829	0,818	0,715	0,639	0,721	1,000	0,925	0,981	1,000	0,817	0,883
UR6	0,671	0,641	1,000	0,995	1,000	0,815	0,987	0,950	0,655	0,875	0,684	0,689	0,793	0,810	0,954	0,998	0,895	0,958	0,781	0,757	0,746	0,702	0,645	0,705	0,895	0,848	1,000	1,000	0,912	1,000
Média	0,853	0,803	0,910	0,907	0,879	0,668	0,938	0,900	0,867	0,751	0,606	0,612	0,868	0,845	0,904	0,860	0,748	0,777	0,885	0,803	0,804	0,713	0,635	0,706	0,926	0,880	0,956	0,856	0,720	0,749