

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS CONTÁBEIS  
NÍVEL DOUTORADO**

**RAFAEL RAMON FONSECA RODRIGUES**

**INSUMOS E PRODUTOS NA AVALIAÇÃO DA  
EFICIÊNCIA TÉCNICA DE HOSPITAIS:  
Um estudo de seleção de variáveis baseado na entropia**

**Porto Alegre**

**2023**

RAFAEL RAMON FONSECA RODRIGUES

**INSUMOS E PRODUTOS NA AVALIAÇÃO DA  
EFICIÊNCIA TÉCNICA DE HOSPITAIS:  
Um estudo de seleção de variáveis baseado na entropia**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Contábeis, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientadora: Profa. Dra. Taciana Mareth  
Coorientador: Prof. Dr. André Luís Korzenowski

Porto Alegre

2023

R696i      Rodrigues, Rafael Ramon Fonseca.  
Insumos e produtos na avaliação da eficiência técnica de hospitais : um estudo de seleção de variáveis baseado na entropia / por Rafael Ramon Fonseca Rodrigues. – 2023.  
79 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis, Porto Alegre, RS, 2023.  
Orientadora: Dra. Taciana Mareth.  
Coorientador: Dr. André Luís Korzenowski.

1. Eficiência. 2. Análise envoltória de dados. 3. Saúde. 4. Hospitais. I. Título.

CDU: 657.05:64.024.8

**RAFAEL RAMON FONSECA RODRIGUES**

**INSUMOS E PRODUTOS NA AVALIAÇÃO DA  
EFICIÊNCIA TÉCNICA DE HOSPITAIS:  
Um estudo de seleção de variáveis baseado na entropia**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Contábeis, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Aprovado em (dia) (mês) (ano)

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Taciana Mareth – Orientadora

---

Prof. Dr. André Luís Korzenowski – Coorientador

---

Prof. Dr. Tiago Wickstrom Alves – Examinador Interno

---

Prof. Dr. Ernani Ott – Examinador Externo

---

Prof. Dr. José Sueldo Câmara Ferreira – Examinador Externo

---

Prof. Dr. Lucidio Clebeson de Oliveira – Examinador Externo

À minha esposa Jessicka.  
Aos meus pais, Raimundo e Rosilda.  
E ao meu avô João Sabino, de onde está feliz.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus misericordioso que nos concedeu esta oportunidade, que colocou nesta jornada anjos maravilhosos, em que destaco meus queridos colegas de turma, professores maravilhosos e os melhores orientadores que poderia ter, os queridos André e Taciana. Duas jóias! Agradeço ainda aos meus pais, Raimundo e Rosilda, por sempre me apoiarem ao longo da minha vida. À minha esposa Jessicka por ser paciente e companheira ininterruptamente. A família Uerniana que sempre me apoiou no meu crescimento profissional e pessoal, representada pela Magnífica reitora e grande amiga Cicília Maia. E, por último, mas longe de ser o menos importante, meu avô João Sabino, que de onde estiver está sorridente e orgulhoso, pois sempre acreditou e me instigou a conquistar mais e mais.

“O mundo não será salvo pelos caridosos, mas pelos eficientes.”

Roberto Campos

## RESUMO

Esse estudo teve como objetivo a proposição de um esquema para seleção de *inputs* (insumos) e *outputs* (produtos) para avaliação da eficiência técnica em hospitais. Foram realizadas duas revisões de literatura. Na primeira se objetivou identificar as variáveis (*Inputs* e *Outputs*) da eficiência técnica em hospitais. Em 115 estudos, foram identificadas 404 citações de *inputs* e 320 citações de *outputs*. Na segunda revisão buscou-se identificar as métricas de seleção de variáveis na composição da mensuração da eficiência técnica dos hospitais, a partir do estudo desenvolvido por Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez e Muñoz-Márquez (2017). Foram identificados inicialmente 320 estudos, dos quais 11 foram considerados elegíveis, fazendo uso de diversos métodos baseados na eficiência, métodos de estatística clássica, entre outros. Por fim, foram selecionadas três abordagens que resultaram em 4 ajustes distintos na composição de *inputs* e *outputs* nos ajustes dos modelos: o método com todas as variáveis disponíveis, o método adotando uma redução prévia da dimensionalidade das matrizes de *inputs* e *outputs* por meio de extração de fatores e o modelo de seleção de variáveis por algoritmo genético, buscando minimizar a entropia das matrizes de *inputs* e *outputs* e maximizar a entropia do vetor de eficiências. Os resultados mostram que a estratégia de maximizar a entropia do vetor de eficiências apresenta maior discricionariedade entre os hospitais, proporcionando uma interpretação mais adequada dos resultados.

**Palavras-chave:** Eficiência; Análise Envoltória de Dados; Saúde.



## ABSTRACT

In recent decades, interest in measuring efficiency has emerged in the most diverse areas and health is no different. A sector of extreme relevance for human beings. There are several efficiency measurement techniques, but Data Envelopment Analysis (DEA) has been a preferred technique in many studies due to several advantages. However, it is important to highlight that the result of the analysis through DEA can be influenced by changing variables (Inputs and Outputs). With the aim of reducing such distortions and seeking to identify the ideal variables to compose the model, the study aims to propose a scheme for selecting inputs (inputs) and outputs (products) for evaluating technical efficiency in hospitals. Initially, two systematic literature reviews were carried out. The research converted two literature reviews. The first objective analysis of the variables (Inputs and Outputs) of technical efficiency in hospitals. In 115 studies, 404 input restrictions and 320 output restrictions were identified. The second review sought to identify the variable selection analyzes in the measurement of the technical efficiency of hospitals, based on the study developed by Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez and Munoz-Márquez (2017). Initially, 320 studies were identified, of which 11 were considered eligible, using various methods based on efficiency, classical statistical methods, among others. Finally, three approaches were selected that resulted in 4 distinct adjustments in the composition of inputs and products in the model adjustments: the method with all available variables, the method adopting a prior reduction of the dimensionality of the input and product matrices through protection of factors and, the variable selection model using a genetic algorithm seeking to minimize the entropy of the input and output matrices and maximize the entropy of the efficiency vector. The results show that the strategy of maximizing the entropy of the efficiency vector presents greater discretion among hospitals, providing a more appropriate interpretation of the results.

**Key-words:** Efficiency; Data Envelopment Analysis; Health.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma que descreve brevemente um algoritmo genético.....	34
Figura 2 – Etapas da Revisão Sistemática da Literatura.....	38
Figura 3 – Método PRISMA.....	39
Figura 4 - Scree-plot dos autovalores da matriz de insumos.....	56
Figura 5 - Scree-plot dos autovalores da matriz de produtos.....	56
Figura 6 - Resultados absolutos da otimização para cada iteração do algoritmo genético.....	60
Figura 7 - Resultados normalizados da otimização para cada iteração do algoritmo genético.....	61
Figura 8 - Resultados médios dos grupos (quantil e.eff > 0,90).....	62
Figura 9 - Distribuições das variáveis mensuradas por grupo (quantil e.eff > 0,90).	63

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese das RSL em Eficiência Hospitalar e <i>healthcare</i> .....	23
Quadro 2 - Objetivos e técnicas utilizadas na pesquisa .....	37
Quadro 3 - Identificação das variáveis da RSL x fonte de dados.....	42
Quadro 4 – Identificação e classificação das variáveis .....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade e percentual de <i>Inputs</i> em hospitais .....	28
Tabela 2 – Quantidade e percentual de <i>Outputs</i> em hospitais.....	29
Tabela 3 - Principais contribuições para a seleção de variáveis na DEA.....	30
Tabela 4 - Medidas descritivas de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> dos hospitais da amostra (n=44) .....	43
Tabela 5 – Quantidades e percentual de <i>Inputs</i> em hospitais.....	49
Tabela 6 – Quantidades e percentual de <i>Outputs</i> em hospitais.....	52
Tabela 7 - Métricas identificadas para a seleção de variáveis na DEA.....	53
Tabela 8 – Classificação de ineficiência.....	55
Tabela 9 - Medidas de diagnóstico para análise fatorial exploratória.....	55
Tabela 10 - Resultados da análise fatorial para a matriz de insumos .....	57
Tabela 11 - Resultados a análise fatorial para a matriz de produtos.....	57
Tabela 12 – Classificação de ineficiência.....	58
Tabela 13 - Combinações possíveis de variáveis em cada grupo de insumos e produtos .....	59
Tabela 14 – Classificação de ineficiência.....	64
Tabela 15 - Entropia, média e desvio-padrão das eficiências .....	65
Tabela 16 - Médias das variáveis de insumos e produtos nos quatro modelos analisados .....	66
Tabela 17 - Hospitais eficientes e ineficientes em cada método .....	68

## LISTA DE SIGLAS

ADEA	Algorithm Data Envelopment Analysis
CNES	Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DEA	Data Envelopment Analysis
DMU	Decision Making Units
ECM	Medida de Contribuição de Eficiência
EE	Estimativa econométrica
EUA	Estados Unidos da América
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
FMI	Fundo Monetário Internacional
ICICT	Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
OMS	Organização Mundial da Saúde
RA	Análise da razão
RN	Rio Grande do Norte
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SFA	Análise de Fronteira Estocástica
SUS	Sistema Único de Saúde

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
1.1 Contextualização do tema e problema .....	14
1.2 Objetivos .....	16
1.2.1 Objetivo geral .....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 Justificativa e Contribuições do Estudo .....	16
1.4 Delimitação do tema .....	18
1.5 Tese .....	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	19
2.1 Teoria de Produção .....	19
2.2 Eficiência Hospitalar .....	21
2.2.1 <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> em Hospitais .....	26
2.2.2 Métodos de Seleção de <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> .....	30
2.2.3 Algoritmo Genético .....	33
3 METODOLOGIA .....	36
3.1 Classificação da pesquisa .....	36
3.2 Revisão de literatura sobre <i>inputs</i> e <i>outputs</i> em hospitais .....	37
3.3 Revisão de literatura sobre métricas de seleção de variáveis .....	40
3.4 Mensuração da eficiência técnica no estudo dos hospitais do RN.....	41
3.4.1 População e amostra.....	41
3.4.2 Identificação das variáveis e estatística descritiva .....	41
3.4.3 Modelo DEA .....	44
3.5 Seleção de variáveis pela análise da entropia .....	45
3.5.1 Entropia de Shannon.....	45
3.5.2 Análise Fatorial Exploratória.....	46
3.5.3 Algoritmo Genético.....	46
3.6 Limitações do método/ metodologia .....	48
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	49
4.1 Análise de <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> a partir da RSL.....	49
4.2 Métodos de seleção de variáveis .....	52
4.3 Análise da eficiência técnica em hospitais da amostra .....	54
4.4 Análise da eficiência técnica em hospitais da amostra por análise fatorial	55

4.5 Seleção de variáveis para análise da eficiência técnica em hospitais da amostra por algoritmo genético.....	59
4.6 Síntese e discussão dos resultados.....	65
5 CONCLUSÃO .....	70
REFERÊNCIAS.....	72

## 1 INTRODUÇÃO

Nesta seção é apresentada a contextualização do tema, na qual é apresentada a questão problema; os objetivos; a justificativa e contribuições do estudo; a delimitação do tema e a tese.

### 1.1 Contextualização do tema e problema

No Brasil, os gastos com saúde nos últimos 20 anos vêm crescendo, substancialmente, no tocante ao financiamento público. Nos anos de 1999 a 2009, os gastos *per capita* cresceram 102,8%. Em 2010, a taxa de dedicação dos gastos públicos com a saúde era de 8,4%, já em 2011 subiu para 9,4% e em 2017, o percentual já alcançava 10,3%, superior à média mundial que é de 10,2%.

Apesar de demonstrar uma evolução do ente público brasileiro em investimentos na saúde, dos 193 países que compõem a Organização Mundial da Saúde – OMS, 81 desses destinam mais recursos que o Brasil. Em 2017, os gastos no Brasil foram de 929 dólares por pessoa, já que em alguns países de baixa e média renda, o investimento em saúde *per capita* fica em torno de 266 dólares e países de alta renda chega a 5.251 dólares.

Ante o exposto, percebe-se uma evolução nos gastos com saúde pública no âmbito orçamentário e pressupõe a ampliação dos mecanismos de atendimentos. No entanto, o Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde (ICICT/Fiocruz) no 4º boletim informativo de monitoramento da assistência hospitalar no Brasil, descreve que de 2009 a 2017 o Brasil teve uma redução 150 hospitais públicos e privados disponíveis ao Sistema Único de Saúde - SUS, como também apresentou a perda de 150 leitos hospitalares, o que significa uma redução de 11,2% nos leitos em todo o Brasil.

Assim, percebe-se que apesar do crescimento em investimento na saúde, vem ocorrendo uma redução na disponibilidade de leitos hospitalares. Ozcan *et al.* (2010) e Varela e Pacheco (2012), relataram acerca da ineficiência na aplicação de recursos em hospitais públicos.

A gestão de custos aliada à aplicação de técnicas da contabilidade de custos, mostra-se extremamente relevante no desafio de tornar o serviço hospitalar brasileiro eficiente (Souza; Scartena, 2010). A eficiência hospitalar é crucial para o



bom funcionamento do sistema de saúde como um todo, uma vez que absorve a maioria dos recursos destinados a saúde (Hollingsworth, 2003).

Existem muitos estudos dedicados à eficiência técnica nos mais diversos setores econômicos, os quais são baseados nas demandas dos seus consumidores para consumir recursos com eficiência, como descrevem Azreena, Juni e Rosliza (2018). A eficiência técnica é retratada com o aumento da produção, com consumo da mesma quantidade de insumos ou a produção de determinados itens com uma quantidade de insumos menor, complementa Farrel (1957).

Estudos realizados nessa linha tomam por base a Teoria da produção, uma vez que a mesma adota a firma como objeto de estudo e se dedica à relação técnica entre a quantidade de insumos disponíveis e aplicados (*inputs*) e os produtos produzidos (Vasconcellos; Garcia, 2005).

Globalmente, a mensuração da eficiência hospitalar tem sido realizada por meio de diversas técnicas, mas são realizadas, principalmente, mediante a análise envoltória de dados (não paramétrica) ou análise de fronteira estocástica (paramétrica), afirmam Alatawi *et al.* (2019). A Análise Envoltória de Dados (DEA) diante das suas vantagens sobre os outros métodos, tem sido um dos métodos comumente usados por muitos pesquisadores na medição da eficiência técnica de hospitais (Azreena; Juni; Rosliza, 2018).

O'Neill *et al.* (2008) destacam o interesse continental acerca da utilização da análise envoltória de dados na medição da eficiência hospitalar, mencionando que de 79 estudos, 48 foram realizados nos EUA e 25 da Europa. Essa realidade mudou entre 2005 e 2016, sendo que a Europa passou a liderar este ranking com maioria dos estudos (96) e em segundo lugar estava a Ásia com 66 estudos, seguida dos EUA com 64 estudos; da África com 18 estudos (Kohl *et al.*, 2019).

No entanto, uma limitação da DEA é quanto a sensibilidade às variáveis selecionadas, uma vez que a seleção inadequada das variáveis do estudo pode levar a medidas equivocadas de eficiência (Ruggiero, 2005). Diante dessa fragilidade, há na literatura diversos estudos que propõem ou analisam métodos de seleção das variáveis. Entretanto, não foram identificados entre eles algum estudo que utilizasse o cálculo da entropia como medida de avaliação da qualidade das variáveis selecionadas.

Ante o exposto, constata-se que, nos últimos anos, houve um crescente interesse na mensuração da eficiência hospitalar em diversos países, bem como o

aprimoramento nos métodos de seleção dos *inputs*, *outputs* e variáveis explicativas, o que demonstra a relevância do presente tema. Dada esta relevância, nesse estudo busca-se resposta ao seguinte problema de pesquisa: Como selecionar *inputs* (insumos) e *outputs* (produtos) para avaliação da eficiência técnica em hospitais?

## 1.2 Objetivos

Nesta seção constam os objetivos geral e específicos da pesquisa.

### 1.2.1 Objetivo geral

Propor um esquema para a seleção de *inputs* (insumos) e *outputs* (produtos) para avaliação da eficiência técnica em hospitais.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar as variáveis (*inputs* e *outputs*) de eficiência técnica em hospitais;
- b) Identificar as métricas de seleção de variáveis na composição da mensuração da eficiência técnica dos hospitais;
- c) Comparar os resultados de mensuração da eficiência técnica de hospitais frente a diferentes esquemas de seleção de variáveis.

## 1.3 Justificativa e Contribuições do Estudo

Por meio do correto gerenciamento dos custos e despesas organizacionais se constrói uma organização eficiente. Nesse contexto se insere, por exemplo, o sistema hospitalar brasileiro, que é de extrema relevância no sistema de saúde do país e vem a cada ano absorvendo uma quantidade cada vez maior de recursos, mas em proporção inversa na disponibilidade de serviços à população.

Diversos são os estudos que abordam a eficiência em hospitais no Brasil. No entanto, focam em nichos específicos como hospitais em determinadas localidades ou hospitais universitários. Em suma, na maioria dos estudos de eficiência hospitalar no Brasil, o pesquisador, de forma arbitrária, determina os *inputs* e *outputs*. Ao assumir que a eficiência é medida por de variáveis e que a inclusão de variáveis

equivocadas pode levar a resultados impróprios, se faz relevante destacar que a seleção do conjunto de variáveis é uma tarefa importante, complementam Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez e Muñoz-Márquez (2018).

São muitos os estudos sem a clara classificação e definição dos *inputs* e *outputs*, como também existem estudos que selecionam um único meio específico de seleção de amostra desenvolvido em outros países, como é o caso de Simar e Wilson (2001), que aplicaram a técnica de *bootstrapping*.

No Brasil, percebe-se uma fragilidade na literatura nacional no tocante a identificação dos diversos meios de seleção de *inputs* e *outputs* disponíveis na literatura internacional, como também a análise da sua aplicabilidade nos hospitais do Brasil.

Após o exame dos estudos desenvolvidos no Brasil, bem como publicados na literatura internacional, não foram encontrados estudos que buscam identificar os *inputs* e *outputs* ideais para mensuração de eficiência em hospitais como no caso brasileiro.

Assim, o estudo busca ainda evidenciar as melhores práticas de eficiência e os métodos de seleção de variáveis. Logo, o devido aproveitamento poderá levar as organizações a obterem um melhor resultado, seja uma organização pública ou privada. O resultado do estudo pode vir a contribuir com o melhor aproveitamento dos insumos consumidos nos hospitais vinculados ao SUS ou possibilitar, com a mesma quantidade de recursos, a oferta de uma maior quantidade de serviços e leitos à população.

#### 1.4 Delimitação do tema

A temática relacionada com a eficiência nas entidades em geral, bem como em hospitais, em particular, pode ser abordada sob distintos pontos de vista. No caso desse estudo, a abordagem está delimitada na seleção de variáveis para mensuração de eficiência de hospitais vinculados ao Sistema Único de Saúde – SUS no Brasil, mais especificamente no estado do Rio Grande do Norte.

#### 1.5 Tese

Como arcabouço teórico, a teoria de base da tese é a Teoria da produção, a qual preconiza que a administração da organização, por meio da combinação de diversos insumos (entradas), obtém um determinado nível de produção (saídas) de forma eficiente (Dias; Oliveira, 2004).

A literatura descreve a representatividade do sistema hospitalar nos gastos com saúde em diversos países. Diante de sua representatividade no orçamento público, se faz relevante o desenvolvimento de uma gestão dos custos ótima. Assim, a eficiência na aplicação dos recursos hospitalares contribui para uma maior economicidade dos mesmos, possibilitando por consequência um crescimento na disponibilidade de serviços à população.

Dentre as principais técnicas de mensuração da eficiência técnica está a Análise Envoltória de Dados (DEA). No entanto, “uma limitação potencial do DEA é a sensibilidade à seleção adequada de variáveis” (Ruggiero, 2005, p. 9). Assim, para mensuração da eficiência técnica é necessário a utilização de metodologias de seleção das variáveis (Fanchon, 2003; Mello *et al.*, 2004; Pastor; Ruiz; Sirvent, 2002; Ruggiero, 2005; Senra *et al.*, 2007; Sigala *et al.*, 2004; Simar; Wilson, 2001).

A utilização do algoritmo genético para seleção das variáveis do estudo apresenta como tese as seguintes proposições:

- O conjunto de variáveis (inputs e outputs) selecionadas impactam na mensuração da eficiência técnica em hospitais; e
- Quanto maior a entropia do vetor de eficiências, maior discricionariedade nos resultados da análise envoltória de dados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção consta a fundamentação teórica da pesquisa.

### 2.1 Teoria de Produção

A teoria de produção teve sua origem da Teoria da firma ou Teoria da empresa, que teve como idealizador o economista inglês Ronald Coase, tendo como ponto de partida seu artigo intitulado a “Natureza da Firma”, publicado em 1937 (Coase, 1937). A Teoria da Firma é utilizada para embasar os estudos teóricos do modo como são definidos os preços de vendas, como também as diversas maneiras de consumo de recursos, dedicando-se na literatura do ambiente econômico à questão da produção (Penrose, 2000).

A Teoria da firma teve diversas ramificações, dentre elas a teoria da produção. Nela consta que os gestores realizam a combinação de diversos insumos e alcançam um determinado nível de produção de forma eficiente (Oliveira; Marques, 2011). Assim, a Teoria de produção, tomando a firma como objeto de estudo, dedica-se à relação técnica entre a quantidade de insumos disponíveis e aplicados (*inputs*) e os produtos produzidos, considerados *outputs* (Vasconcellos; Garcia, 2005). Em suma, a teoria a produção trata da geração de bens e serviços ofertados à sociedade, como descrevem Oliveira *et al.* (2014).

Quanto à conceituação de produção, os autores supracitados descrevem que na microeconomia a produção é o processo em que são consumidos recursos para produção de bens e serviços, sejam eles tangíveis ou intangíveis. A técnica ou método definido para seleção dos fatores e elaboração de produtos é aquela que poderá ser evidenciada por meio da função de produção.

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”. Já Varian (2000), complementa que a função da produção é constituída pela relação entre a quantidade máxima de produção que se pode obter de um produto utilizando um conjunto de insumos, em uma unidade de tempo, considerando o processo de produção mais adequado.

A função da produção é concebida nos processos de produção ou suas etapas, afim de identificar recursos consumidos de modo ineficiente, ou até mesmo identificar se a unidade de produção é eficiente ou ineficiente, identificando assim as melhores formas de utilização dos recursos existentes e disponíveis (Pindyck; Rubinfeld, 2010).

Para mensurar e estimar a função de produção existem dois métodos descritos na literatura, são eles: paramétrico e não paramétrico. A metodologia paramétrica é desenvolvida por meio de funções matemáticas, de acordo com uma série de dados, sendo possível caracterizar os níveis de eficiência das organizações, como mencionam Freire *et al.* (2011). Os autores complementam que o modelo paramétrico se encontra em modelos de fronteira determinística e modelo de fronteira estocástica. De acordo com Barros, Costa e Sampaio (2004), entre estes dois tipos de fronteiras a diferença básica está prevista no termo do erro da função da produção.

Já a abordagem da função da produção não paramétrica de programação é a Análise Envoltória de Dados, também conhecida como DEA (*Data Envelopment Analysis*), complementam Freire *et al.* (2011).

Logo, observa-se que a Teoria da Produção leva em consideração para análise a quantidade física, assim, o resultado da função decorrerá de na organização se aplicar uma determinada quantidade de possíveis insumos/produtos, alcançando uma quantidade máxima de produtos (Pindyck; Rubinfeld, 2010).

A função da produção pode ser representada matematicamente, de acordo com Varian (2000), da seguinte forma:

$$Y = f ( X_1, X_2, X_3 \dots X_n )$$

onde Y representa a variável dependente, que é a quantidade de bens ou serviços produzidos. Já “ $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ ” representam os fatores de produção, recursos consumidos para produzir os bens e serviços.

## 2.2 Eficiência Hospitalar

A eficiência pode ser descrita sob duas perspectivas, a primeira caracteriza-se pela redução do consumo de insumos, mantendo a capacidade de produção e, a segunda é concebida por meio do aumento da quantidade de produtos ou serviços produzidos, diante do mesmo consumo de recursos (Farrel, 1957).

A literatura descreve diversas tipologias de eficiência, fazendo-se necessário distinguir a eficiência técnica da eficiência alocativa. A eficiência técnica não leva em consideração os custos dos recursos consumidos, já a eficiência alocativa considera o custo dos recursos consumidos, a fim de identificar a combinação de recursos para produção de um determinado leque de produtos (Ozcan; Luke, 1993).

No sistema hospitalar, a eficiência configura uma melhor alocação de recursos, contribuindo para elevar a quantidade de atendimentos e por consequência mais beneficiados, descrevem Alatawi *et al.* (2019). Os autores complementam que estudos em eficiência são importantes, pois contribuem com o desempenho dos hospitais ao reduzir o desperdício de insumos.

Corroborando, Hanson *et al.* (2002) complementam que a eficiência hospitalar é fundamental para o sistema de saúde como um todo, uma vez que os hospitais absorvem uma grande fatia do orçamento disponível. Os autores ainda afirmam, por exemplo, que os hospitais dos países da África Subsaariana consumiram em 2002, aproximadamente 40% dos recursos da saúde pública. Contribuindo no representativo percentual de recursos voltados à saúde consumidos por hospitais, Kelly, Stoye e Vera-Hernández (2016) afirmam que os hospitais públicos consomem 44% dos recursos disponíveis para saúde pública do Reino Unido.

O aumento dos gastos voltados para saúde pública e privada, levaram a sociedade e os cientistas a questionarem a eficiência dos serviços. Mediante técnicas “paramétricas” e “não paramétricas” é possível analisar o comportamento dos custos na saúde e identificar possíveis desperdícios de mão de obra, equipamentos, suprimentos, energia e ideias. A medição de eficiência deve ser utilizada cada vez mais no ente público, como argumentam Hussey *et al.* (2009). Faz-se relevante frisar que a ineficiência dos recursos provoca a elevação dos valores dos planos de saúde.

Variáveis (*inputs*, *outputs* e explicativas) são consideradas para a mensuração da eficiência. Os *inputs* são representados por bens e serviços

utilizados na prestação do serviço hospitalar, por exemplo: Quantidade de médicos, enfermeiros, leitos disponíveis etc. Enquanto que os *outputs* são os resultados obtidos da prestação do serviço, quantidade de atendimentos, tempo de internação, entre outros.

A mensuração da eficiência em hospitais tem sido realizada por meio de diversas técnicas. Dentre os métodos “não paramétricos” a principal técnica é a Análise Envoltória de Dados (DEA) e, dentre aos métodos “paramétricos”, está em destaque a análise de fronteira estocástica (SFA), como destacam Alatawi *et al.* (2019).

Segundo Mariano, Almeida e Rebellato (2006, p. 41) a definição da eficiência de uma determinada atividade desempenhada é definida como a “divisão entre um indicador de desempenho desse objeto e o seu correspondente máximo”. Os autores supracitados descrevem que a eficiência pode ser expressada da seguinte forma:

$$\text{Eficiência} = P / P_{\max}$$

em que:

P: Produtividade atual da DMU

$P_{\max}$ : Produtividade máxima que pode alcançada por essa DMU.

O resultado da equação sempre compreenderá um valor entre 0 e 1, podendo ser ainda expressa em termos percentuais, possibilitando o cálculo da eficiência absoluta e a eficiência relativa, descrevem Mariano, Almeida e Rebellato (2006).

Hollingsworth (2003) analisou 188 estudos publicados acerca da Eficiência de fronteiras em hospitais e outras áreas da saúde localizados na Europa e nos EUA, comparando com sua última revisão de literatura com parâmetros semelhantes em 1997, verificou que por volta de 5 anos depois os estudos na área de eficiência em hospitais mais do que duplicaram. O estudo descreve que as pesquisas na área devem ser realizadas com muita cautela, por não ser possível medir o produto principal, as mutações do estado de saúde. Complementa que os resultados dos estudos podem sofrer influências de variáveis omitidas, mas reconhece que apesar das limitações das metodologias de mensuração de eficiência, elas estão evoluindo.

Para fins desse estudo foram identificadas pesquisas sobre eficiência na área hospitalar, destacando-se 11 artigos de revisão sistemática de literatura, conforme o



Quadro 1. De forma geral, os estudos corroboram com a importância do tema para a área da saúde.

Quadro 1 – Síntese das RSL em Eficiência Hospitalar e *healthcare*

<b>Autores</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Palavras-chaves</b>	<b>Delimitação</b>	<b>Amostra</b>
Hollingsworth (2003)	Analisar estudos sobre a medição de eficiência de fronteira.	Medição de eficiência, cuidados de saúde, fronteiras paramétricas, não paramétricas, estocásticas, análise envoltória de dados, cuidados de saúde	EUA e Europa	188 estudos
Worthington (2004)	Examinar cada uma das principais abordagens de medição de eficiência de fronteira que se aplicam aos serviços de saúde	Medição de eficiência de fronteira; cuidados de saúde	Base de dados EconLit	38 estudos
Rosko e Mutter (2008)	Analisar de fronteira estocástica (SFA) de ineficiência hospitalar nos Estados Unidos foram analisados	Eficiência hospitalar; análise de fronteira estocástica	EUA	20 estudos
Afzali, Moss e Mahmood (2009)	Selecionar as variáveis apropriadas para medir o hospital eficiência com foco em hospitais públicos iranianos	-	Irã	22 estudos
Hussey <i>et al.</i> (2009)	Revisar e caracterizar as medidas de eficiência existentes na saúde, a fim de facilitar um entendimento comum sobre a adequação desses métodos	Eficiência, perfil do provedor, medição de desempenho, revisão sistemática	MedLine e EconLit	265 medidas
Nguyen e Coelli (2009)	Quantificar os efeitos das escolhas de modelagem nas medidas de eficiência hospitalar	Meta regressão, eficiência, produtividade, análise de fronteira estocástica, análise envoltória de dados.	ECONLIT, Web of Science e Pubmed	95 estudos
Kiadaliri, Jafari e Gerdtham (2013)	Revisar estudos na área de eficiência hospitalar e examinar a eficiência técnica estimada (TE) de hospitais iranianos	Eficiência técnica, Meta-regressão, Análise envoltória de dados, Análise estocástica de fronteira, Irã	EconLit, Pubmed, Scopus, Embase, Web of Science, SID e Magiran	29 estudos
Azreena, Juni e Rosliza (2018)	Revisar estudos de entradas e saídas do hospital na medição da eficiência técnica usando análise de desenvolvimento de dados	Entradas do hospital, saída do hospital, eficiência técnica, análise de envoltório de dados, DEA	Pubmed e CINAHL	24 estudos

Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018)	Revisar as metodologias utilizadas para estudos de eficiência em unidades de saúde em países de baixa e média renda	-	MEDLINE, Embase, Global Health, Bancos de dados EconLit e ProQuest, Dissertações e Teses	137 estudos
Alatawi <i>et al.</i> (2019)	Revisar a literatura sobre a eficiência dos hospitais públicos e sintetizar os resultados nos países do GCC e em ambientes comparáveis	Países do Golfo, Revisão sistemática, Eficiência técnica, Hospitais públicos, Análise envoltória de dados, Análise de fronteira estocástica	Golfo, Irã e Turquia	22 estudos
Kohl <i>et al.</i> (2019)	Revisar publicações que usam a metodologia DEA para analisar dados em saúde, com foco em hospitais.	Análise de envoltória de dados. Eficiência Cuidados de saúde . Hospital.	Google Scholar, Science Direct e PubMed	262 estudos

Fonte: Elaborado com base nos autores citados.

Worthington (2004) realizou um levantamento sinóptico comparativo de análises empíricas de medição de eficiência de fronteira em serviços de saúde identificados na literatura, mais especificamente, no banco de dados EconLit, no qual foram identificados 38 estudos. Diversos outros ramos utilizam as técnicas econométricas e matemáticas de estimativa de fronteira, mas se tratando das particularidades da saúde, as metodologias acima citadas ainda se encontravam incipientes, descreve o autor. O autor complementa ainda que é possível que tenha ocorrido o uso indevido das técnicas de eficiência nas atividades de saúde, uma vez que muitos estudos trazem como recomendação políticas de cortes e reduções orçamentários, mas que são muito criticados por outros estudiosos, pois o ideal seria mudar provavelmente os gestores ou o emprego de outras estratégias.

Após ineficiência hospitalar constatada por meio da análise de fronteira estocástica (SFA), 20 estudos identificados na literatura conforme Rosko e Mutter (2008), argumentam que a SFA pode vir a ser promissora na compreensão da ineficiência do sistema hospitalar, como também na formulação de políticas com o intuito de reduzir a ineficiência. Em suma, os autores descrevem que o SFA é muito competente na medição da ineficiência de hospitais tanto com alto quanto com baixo desempenho, como também alertam sobre a necessidade de se ter muito cuidado no momento de aplicar esta técnica que se mostrou mais adequada para medir a ineficiência relativa.

Com a finalidade de construir uma estrutura conceitual para selecionar as variáveis apropriadas para medir a eficiência hospitalar, Afzali, Moss e Mahmood (2009) selecionaram 22 revisões da literatura em diversas bases de dados acerca da qualidade da medição do desempenho hospitalar. No entanto, foi identificada uma falta de clareza na seleção das variáveis, como também classificações limitadas das atividades, bem como pouca atenção com as variáveis de qualidade. Assim, o estudo se propõe na medição da eficiência a utilização de variáveis convencionais e voltadas para o desenvolvimento.

Hussey *et al.* (2009) realizaram uma revisão sistemática da literatura com objetivo de revisar e caracterizar as medidas de eficiência em saúde, buscando facilitar a compreensão das metodologias utilizadas. Os autores identificaram que a maioria dos estudos se baseiam na Análise de Fronteira Estocástica (SFA) e na Análise Envoltória de Dados (DEA), como também evidenciaram que diferente das medidas de qualidade, as medidas de mensuração de eficiência utilizadas nos estudos foram poucas as submetidas a rigorosas avaliações de desempenho, confiabilidade, validade e sensibilidade, confirmando a falta de avaliação no tocante a solidez científica das medidas utilizadas nos estudos.

Nguyen e Coelli (2009) mediante o uso de meta-regressão, buscaram quantificar os estudos na área de eficiência hospitalar e examinar a eficiência técnica estimada de Hospitais. O estudo identificou 253 modelos em 95 estudos e verificaram que a maioria dos estudos convergem para a utilização de metodologias paramétricas e não paramétricas, bem como descrevem que as entradas e saídas dos modelos demonstram estar muito próximas umas das outras.

Kiadaliri, Jafari e Gerdtham (2013) por meio de uma revisão sistemática da literatura, buscaram revisar estudos na área de eficiência hospitalar e examinar a eficiência técnica estimada (TE) de hospitais iranianos, identificando que as técnicas baseadas em fronteira tiveram um forte impacto nos escores de eficiência, como também perceberam que os estudos analisados possuem limitações metodológicas, comprometendo assim a validade e confiabilidade.

Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018) revisaram as metodologias utilizadas para estudos de eficiência em unidades de saúde em países de baixa e média renda. Foram identificados 137 estudos nos quais foram aplicados diversos métodos, dentre eles: Análise da razão (RA), estimativa econométrica (EE), análise de fronteira estocástica (SFA) e a análise envoltória de dados (DEA). Dentre os estudos

identificados nos mais diversos países, o DEA foi o mais frequente na medição de eficiência, diante de diversas vantagens que a metodologia apresenta.

Com o intuito de identificar os *inputs* e *outputs* utilizados na medição de eficiência em hospitais com o uso da análise envoltória de Dados, Azreena, Juni e Rosliza (2018) realizaram uma revisão sistemática da literatura, nas bases de dados Pubmed e CINAHL entre 2007 e 2017 e identificaram como entradas o número de médicos, de enfermeiros entre outros. Já como saídas identificaram o número de pacientes, cirurgias etc. Os autores ressaltam que na identificação dos fatores de mensuração da eficiência é relevante considerar os objetivos do próprio hospital.

Alatawi *et al.* (2019) revisaram os estudos de eficiência hospitalar realizados nos países do golfo, mediante uma RSL, identificando 22 estudos. Concluíram que as metodologias e premissas utilizadas influenciam os resultados, como também identificaram que a quantidade de estudos desenvolvidos é limitada, que não foram realizados comparativos com os resultados de outras nações e perceberam deficiências consideráveis na mensuração da eficiência.

Com a finalidade de analisar estudos de aplicações DEA na área da saúde, com foco especial em hospitais, Kohl *et al.* (2019) desenvolveram uma RSL e identificaram 262 estudos em que identificaram pela primeira vez uma quantidade substancial de estudos nos continentes africanos e asiáticos, constatando que continua a crescer a quantidade de pesquisas. Os autores perceberam em relação aos modelos utilizados, uma tendência na utilização de parâmetros de qualidade. Aproximadamente 80% dos estudos utilizam um dos dois modelos básicos do DEA, se considerada a variedade de modelos existentes é um percentual surpreendente.

A fim de determinar a eficiência ideal, diversas técnicas foram desenvolvidas. O estudo de Nguyen e Coelli (2009) que coletou dados de 1987 a 2008, identificou 253 modelos estimados em 95 estudos empíricos. Independente do modelo utilizado, um fator primordial na identificação da eficiência são os recursos consumidos (*Inputs*) e resultados obtidos (*outputs*) – descritos na próxima seção.

### 2.2.1 *Inputs* e *Outputs* em Hospitais

Os *inputs* (entradas) e *outputs* (saídas) são elementos necessários na mensuração da eficiência, independente da escolha da técnica de seleção, seja por

meio da análise paramétrica, a exemplo o SFA ou não paramétrica, que tem como mais popular técnica a DEA.

Os *inputs*, também conhecidos como entradas ou simplesmente como insumos utilizados na prestação de serviços, podem ser representados de diversas formas, como quantidade de médicos, enfermeiros e demais colaboradores, também podem ser apresentados em forma de estrutura disponível, como equipamentos médicos, leitos, unidades de saúde ou pela combinação ou valor monetário dos *inputs* mencionados anteriormente, conforme descrevem os estudos de Hussey *et al.* (2009), Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018) e Azreena, Juni e Rosliza (2018).

Já os *outputs* reconhecidos como as saídas ou simplesmente pela entrega de serviços prestados, também podem ser representados de diferentes formas, a depender do objetivo da unidade hospitalar, como consultas, internamentos, procedimentos realizados, admissão ou alta entre outros, conforme evidenciam os estudos de Hussey *et al.* (2009), Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018) e Azreena, Juni e Rosliza (2018). Ainda pode ser levado em consideração o desempenho financeiro das atividades.

No estudo de Hussey *et al.* (2009) foram identificadas 256 medidas distintas de eficiência, divididas em entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*). Dentre as medidas identificadas de entrada (*inputs*) 123 são físicas, 82 financeiras e 60 delas físicas e financeiras, como também afirmam que muitos insumos utilizados nos estudos são resultados de outras medidas, evidenciando a atenção na mensuração da eficiência.

Entre as saídas (*outputs*) identificadas nos estudos analisados, 258 são serviços de saúde, 5 resultados de saúde e 3 são outras métricas, descrevem Hussey *et al.* (2009). Os autores complementam que 97,4% de todos os *outputs* identificados utilizaram a entrega de serviços de saúde como resultado (*output*).

Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018) detalharam em seu estudo de revisão das metodologias de eficiência em unidades de saúde os diversos *inputs* e *outputs* utilizados, conforme se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade e percentual de *Inputs* em hospitais

<b>Variável Input</b>		<b>Quantidade</b>	<b>%</b>
1.	<b>Físico</b>		
1.1.	<b>Capital</b>		
1.1.1.	Leitos	73	27.7
1.1.2.	Tamanho da Instalação	1	0.4
1.1.3.	Equipamento médicos	2	0.8
1.1.4.	Departamento	1	0.4
1.1.5.	Número de unidades de Saúde	0	0
1.2.	<b>Trabalho/Materiais</b>		
1.2.1.	Médico	47	17.8
1.2.2.	Enfermeira/parteira	34	12.9
1.2.3.	Equipe não médica	20	7.6
1.2.4.	Mão de obra total	12	4.5
1.2.5.	Equipe técnica / paramédica	17	6.4
1.2.6.	Equipe médica	10	3.8
1.2.7.	Nº e duração em horas de atividades	1	0.4
1.2.8.	Medicamentos e suprimentos médicos	3	1.1
1.2.9.	Suprimentos não médicos	1	0.4
2.	<b>Financeiro</b>		
2.1.	<b>Despesa total</b>	22	8.3
2.2.	<b>Valor de capital</b>	4	1.5
2.3.	<b>Trabalho / Materiais</b>		
2.3.1.	Despesas para itens ou serviços específicos	7	2.7
2.3.2.	Despesa Salarial	6	2.3
2.4.	<b>Outros</b>		
2.4.1.	Mix de serviços	2	0.8
2.4.2.	Qualidade de Gestão	1	0.4
<b>Total</b>		264	100

Fonte: Adaptado de Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018).

Dentre os 137 estudos analisados por Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018), eles dividiram os *inputs* em dois grandes grupos, físicos e financeiros. A variável leitos foi utilizada como *input* em 73 estudos, os médicos em 47 e enfermeiros em 34, seguido pela equipe não médica (20) e equipe técnica / paramédica (17).

Segundo Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018), foram identificados 277 *outputs* nos 137 estudos, conforme a Tabela 2.

Os 277 *outputs* identificados na tabela 2, foram divididos em três grupos, são eles: saídas de atividades, financeiro e produção de qualidade. Foram os mais representativos nos estudos os *outputs* contidos na dimensão saída de qualidade, na seguinte ordem: Admissão ou alta (70), Consulta Laboratorial (68), Dias de internamento (61), procedimentos (36), outros serviços (21), após, foi identificado o desempenho financeiro (10) da dimensão Financeiro.

Tabela 2 – Quantidade e percentual de *Outputs* em hospitais

<b>Variável Output</b>		<b>Quantidade</b>	<b>%</b>
1.	<b>Saída de atividade</b>		
1.1.	Consulta Ambulatorial	68	24.5
1.2.	Admissão ou alta	70	25.3
1.3.	Dias de Internamento	61	22
1.4.	Outros serviços	21	7.6
1.5.	Procedimentos	36	13
1.6.	Sessão	3	1.1
2.	<b>Financeiro</b>		
2.1.	Desempenho Financeiro	10	3.6
3.	<b>Produção de qualidade</b>		
3.1.	Readmissão	1	0.4
3.2.	Taxa de mortalidade	2	0.7
3.3.	% de taxa de sobrevivência	1	0.4
3.4.	Qualidade de Serviço	4	1.4
3.5.	Satisfação do paciente	0	0
<b>Total</b>		<b>277</b>	<b>100</b>

Fonte: Adaptado de: Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018).

Se faz relevante destacar, de acordo com a Tabela 2, que a dimensão que menos foi levada em consideração na composição de *outputs* foi a Produção de Qualidade, composta pelos *outputs*: Readmissão (1), Taxa de mortalidade (2), % de taxa de sobrevivência (1), Qualidade de Serviço (4) e Satisfação do paciente (0).

Azreena, Juni e Rosliza (2018) analisaram publicações de 2007 a 2017 e foram identificados 24 estudos sobre eficiência técnica em hospitais por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), dos quais foram elencados os diversos *inputs* utilizados, entre eles: número de médicos, número de enfermeiros, número de técnicos, número de leitos ativos, número de camas, número de cuidados primários entre outros. Também foram descritos os *outputs* utilizados nos estudos, são eles: Visitas aos ambulatórios, dias internado, número de cirurgias, camas ocupadas entre outros.

Após a descrição das diversas revisões sistemáticas da literatura que listaram os *inputs* e *outputs* utilizados em estudos de mensuração da eficiência hospitalar (Azreena; Juni; Rosliza, 2018; Hafidz; Ensor; Tubeuf, 2018; Hussey *et al.*, 2009), não foram identificadas grandes diferenças nas variáveis listadas, no máximo a utilização de nomenclaturas diferentes que representavam o mesmo recurso.

As pesquisas nesta área devem ser conduzidas com muita cautela e os resultados dos estudos interpretados e usados com cuidado (Hollingsworth, 2003). Conforme descrevem Azreena, Juni e Rosliza (2018), na seleção de *inputs* e *outputs* em estudos para mensuração da eficiência hospitalar, devem ser levados em

consideração os objetivos do próprio hospital em estudo, uma vez que os resultados das medições podem ser sensíveis a uma infinidade de opções de *inputs*, *outputs* e variáveis explicativas difíceis de interpretar (Hussey *et al.*, 2009).

### 2.2.2 Métodos de Seleção de *Inputs* e *Outputs*

Como já referido, a análise envoltória de dados (DEA) é uma técnica de mensuração da eficiência desenvolvida por Charnes, Cooper e Roodes (1978), a qual por meio de um conjunto de *inputs*, mensura vários *outputs*. Assim, torna-se perceptível que os principais influenciadores são os *inputs* e *outputs* escolhidos.

Percebe-se nos estudos que a seleção das variáveis ocorre de acordo com a escolha dos tomadores de decisão na composição dos *inputs* e *outputs*, como também ocorre por políticas culturais, assumindo a priori que são as corretas, afirmam Cook e Zhu (2014). Assim, ao assumir que a eficiência é medida por meio de variáveis e que a inclusão de variáveis equivocadas pode levar a resultados impróprios, se faz relevante destacar que a seleção do conjunto de variáveis é uma tarefa importante, como complementam Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez e Munõz-Márquez (2017).

Na literatura foram identificados diversos estudos que analisam os *inputs* e *outputs* e desenvolvem meios de seleção dos mesmos, como Jenkins e Anderson (2003), Simar e Wilson (2001), Ueda e Hoshiai (1997), Lins e Moreira (1999) e Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez e Munoz-Márquez (2017) entre outros, conforme descreve a Tabela 3.

Tabela 3 - Principais contribuições para a seleção de variáveis na DEA

(continua)

Métodos baseados na eficiência		Métodos de estatística clássica
	1982	Lewin, Morey & Cook
	1989	Roll, Golany & Seroussy
Norman & Stoker	1991	
Banker	1996	
	1997	Ueda & Hoshiai
Lins & Moreira	1999	
Simar & Wilson	2001	Adler & Golany
Pastor, Ruiz & Sirvent	2002	



Métodos baseados na eficiência		Métodos de estatística clássica
Fanchon	2003	Jenkins e Anderson
Sigala	} 2004	
Soares de Mello e others		
Ruggiero	2005	
Senra e outros	} 2007	
Wagner e Shimshak		
González-Araya e Valdés Valenzuela	2009	
	2011	Kao, Lu e Chiu
	2012	Bian
	2013	Lin & Chiu
Madhanagopal e Chandrasekaran	2014	
Sharma e Yu	2015	
Jitthavech	} 2016	
Subramanyam		
Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez e Munoz-Márquez	2017	

Fonte: Adaptado de Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez e Munoz-Márquez (2017).

Banker (1996) buscou identificar uma estrutura unificada diante de diversas proposições sobre a variação em relação a fronteira de produção. O autor identificou uma série de limitações, dentre elas que a DEA é tendenciosa em amostras finitas e propõe a utilização de métodos de *bootstrapping*, conforme destacado na tabela 3.

Simar e Wilson (2001) desenvolveram um estudo em que mediante procedimentos estatísticos testaram diversos métodos de mensuração da eficiência técnica. Em suma, testaram a relevância das diversas entradas e saídas utilizadas, como também se era possível agregar diversas entradas e saídas. Utilizaram experimentos de Monte Carlo para identificar o tamanho e poder dos testes.

Pastor, Ruiz e Sirvent (2002) analisaram o impacto das variáveis denominadas de candidatas, na mensuração da eficiência por meio da DEA. Os autores propuseram uma nova medida de contribuição de eficiência (ECM), que compara as pontuações dos dois modelos radiais DEA. Em seguida desenvolveram um teste que avaliava a relevância da contribuição na eficiência da variável candidata. O teste desenvolvido contribui para análise crítica quanto a inclusão ou exclusão de variáveis no modelo.

Diante da sensibilidade das medidas de eficiência da Análise Envoltória de Dados (DEA), Fanchon (2003) pesquisou como medir a eficiência quando o número de empresas comparadas é pequeno ou quando a quantidade de variáveis estudadas é extensa. Tomando por base o setor industrial de computadores, Fanchon (2003) desenvolveu um método que identifica as variáveis relevantes para mensuração de eficiência em um modelo DEA, ao mensurar a quantidade ótima de variáveis bem como a contribuição de cada uma destas para determinação da eficiência.

Muitos autores defendem a utilização da DEA na mensuração da eficiência, mas sem a devida atenção aos *inputs* e *outputs* escolhidos os resultados não serão satisfatórios. Partindo desse pressuposto, Mello *et al.* (2004) propuseram um método baseado na seleção reduzida de entradas e saídas, que evidencie adequadamente a relação entre os mesmos. Os autores testaram seu novo método mensurando a eficiência dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Sigala *et al.* (2004) pesquisaram o impacto do investimento em tecnologias de informação e comunicação na indústria hoteleira do Reino Unido e para tal utilizaram a DEA, que foi complementada na construção metodológica pela abordagem de regressão *stepwise*. Os autores destacaram a fragilidade da DEA diante de *outliers* e a preocupação em minimizar o impacto dos mesmos.

Uma fragilidade da DEA é a sensibilidade à escolha adequada das variáveis, como descreve Ruggiero (2005) e partindo desse pressuposto, propôs em seu estudo analisar a seleção dos insumos utilizando a análise de simulação para mensurar o impacto que a exclusão de entradas importantes tem na operacionalização da DEA, como também descreveu regras para seleção das variáveis, com base na análise de regressão.

Senra *et al.* (2007) compararam quatro métodos de seleção de variáveis, com foco nas DMU's, avaliando a eficiência de operadores logísticos de entrega de jornais, apresentando uma excelente performance, o método multicritério combinatório por Cenário que os autores descrevem ser uma simplificação do Método Multicritério Combinatório Total por Cenários. Os autores complementaram que para submeter a seleção de variáveis sem nenhuma seleção prévia, podem ser utilizados outros métodos de discriminação.

Wagner e Shimshak (2007) desenvolveram um método de seleção de *inputs* e *outputs*, denominado *Stepwise*, o qual envolve a maximização ou minimização da mudança média na eficiência, ao passo que as variáveis são adicionadas ou retiradas.

González-Araya e Valenzuela (2009) propuseram um modelo de seleção de variáveis para a DEA quando o número de DMU's é muito maior que o número de variáveis. Os autores tomaram por base o modelo proposto por Mello *et al.* (2004) e estabeleceram um novo critério no procedimento de seleção da contribuição da eficiência técnica média descrita por Mello *et al.* (2004).

Entre as metodologias já abordadas, Madhanagopal e Chandrasekaran (2014) propuseram que a seleção de variáveis para a DEA fosse realizada inicialmente por um algoritmo genético, afim de encontrar a combinação ótima de variáveis. Em seguida, foi aplicado o modelo proposto por Pastor, Ruiz e Sirvent (2002) para definir o melhor conjunto de variáveis.

Com a finalidade de identificar variáveis importantes, Sharma e Yu (2015) propuseram um modelo de envelope de dados de regressão *stepwise*. Os referidos autores ainda utilizaram o teste Kruskal-Wallis para verificar se todas as variáveis escolhidas são relevantes. O modelo contribuiu para compreender quais unidades de tomada de decisão estão listadas incorretamente como eficientes.

Jitthavech (2016) propôs uma metodologia de seleção de variáveis em que afirma ser útil para qualquer tipo de modelo da DEA, mas para a conclusão do seu estudo verificou que o método desenvolvido foi com base nas simulações de Monte Carlo, usando apenas um modelo CCR orientado a insumos e uma função de produção convexa Cobb-Douglas.

Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez e Muñoz-Márquez (2018) propuseram um algoritmo de seleção de variáveis que avalia a contribuição das mesmas e o denominaram de ADEA, por exemplo.

### 2.2.3 Algoritmo Genético

“Ao longo da história, nós, humanos, construímos gradualmente um grande edifício de conhecimento que nos permite prever, em vários graus, o clima... o curso das doenças, a ascensão e queda de crescimento econômico” (Mitchell, 1998, p. 1).

No entanto, recentemente cientistas admitiram as limitações na tentativa de prever fatos.

A busca no desenvolvimento da inteligência artificial originou-se aliada a era computacional. Seus pioneiros eram interessados também em biologia, descreve Mitchell (1998). A autora complementa que, em meados de 1980 cresceu o interesse em pesquisas envolvendo redes neurais, seguido pelo aprendizado de máquina e em terceiro, conhecido por computação evolutiva, o algoritmo genético é o exemplo em mais destaque.

Os algoritmos genéticos são mecanismos de alavancagem e busca, baseados na evolução populacional dos seres vivos. Os algoritmos baseiam-se no princípio da seleção natural, onde sobreviverá o mais apto, conforme descreve Charles Darwin em seu livro “A origem das espécies” (Darwin, 2004).

O conceito da terminologia algoritmo genético foi proposto pelo prof. John Holland e alguns alunos em meados de 1975, como descrevem Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez e Muñoz-Márquez (2017). Os autores citados complementam que o algoritmo genético seleciona variáveis, baseado nas leis de seleção da natureza, otimizando a busca de melhor solução para um determinado problema, ou seja, caracteriza-se em buscar as mais diversas soluções e, com base nas informações e resultados obtidos, encontrar soluções cada vez melhores, descrevem Lacerda e Carvalho (1999). O fluxograma evidenciado na Figura 1, representa o algoritmo genético:

Figura 1 - Fluxograma que descreve brevemente um algoritmo genético.



Fonte: Cortes (1999 *apud* Catarina, 2005).

São diversas as diferenças entre um algoritmo genético e outras ferramentas de busca e otimização de resultados, conforme descreve Correia (2003, p. 1), entre eles:

1. Não trabalharemos diretamente com o domínio do problema, mas com representações dos seus elementos.
2. Executaremos a procura num conjunto de candidatos (população) e não apenas num.
3. Não teremos conhecimento específico do problema, utilizando apenas a função objetivo.
4. Utilizaremos basicamente regras probabilísticas.

Na composição dos algoritmos genéticos os fatores disponíveis de um determinado problema são como genes que compõem um cromossomo e o valor devido a cada um dos genes é denominado de alelo, enquanto que sua posição é conhecida como locus, descrevem os autores acima citados. Os autores ainda complementam que, o conjunto de soluções identificadas pelo algoritmo genético é denominado de população que recorre a operadores genéticos (seleção, cruzamento, mutação entre outros), afim de identificar as melhores soluções, os melhores cromossomos para solução, os mais aptos.

### 3 METODOLOGIA

Nesse capítulo são evidenciados os procedimentos metodológicos da pesquisa como: Classificação da pesquisa; População e Amostra; Coleta e análise de Evidências; e Limitações do método.

#### 3.1 Classificação da pesquisa

A classificação da pesquisa com relação à sua natureza é reconhecida como pesquisa aplicada, uma vez que visa gerar novos conhecimentos a fim de solucionar um determinado problema que usa ainda, a pesquisa básica para suporte.

Quanto à classificação do estudo com relação à forma de abordagem, assume característica de uma pesquisa quantitativa, uma vez que desde a coleta dos dados até a evidenciação, os dados utilizados no estudo são representados por números (Prodanov; Freitas, 2013).

No tocante aos objetivos propostos no estudo, a pesquisa é enquadrada como de cunho descritiva, pois visa identificar e descrever o estabelecimento de relações entre as variáveis (*inputs* e *outputs*) como mencionam Cervo e Bervian (2002).

Em relação a classificação da pesquisa conforme o procedimento técnico, o estudo assume caráter de pesquisa documental (Raupp; Beuren, 2006) mediante a utilização de documentos disponíveis no sistema do DATASUS. Logo, a coleta dos dados é caracterizada como de cunho secundário.

O Quadro 2 evidencia de forma sintética os objetivos específicos, as técnicas/métodos e as fontes de dados que foram utilizadas para os mesmos serem alcançados.

Quadro 2 - Objetivos e técnicas utilizadas na pesquisa

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Técnicas/métodos</b>	<b>Fonte dos dados</b>
a) Identificar as variáveis da eficiência técnica em hospitais;	Revisão sistemática de literatura acerca das variáveis ( <i>inputs</i> e <i>outputs</i> );	Bases de dados: Wiley, Scopus, Periódicos Capes, Ebsco, Web of Science, Springerlink
b) Identificar as métricas de seleção de variáveis na composição da mensuração da eficiência técnica dos hospitais;	Revisão sistemática de literatura de métricas de seleção de variáveis na composição da mensuração da eficiência técnica dos hospitais.	Bases de dados: Web of Science , Wiley, Scopus, Pumed e EMBASE.
c) Comparar os resultados de mensuração da eficiência técnica de hospitais frente a diferentes esquemas de seleção de variáveis	Aplicar diferentes esquemas de seleção de variáveis: esquema completo, ACP e algoritmo genético para comparar a entropia das eficiências entre os esquemas.	DATASUS, IBGE e etc

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

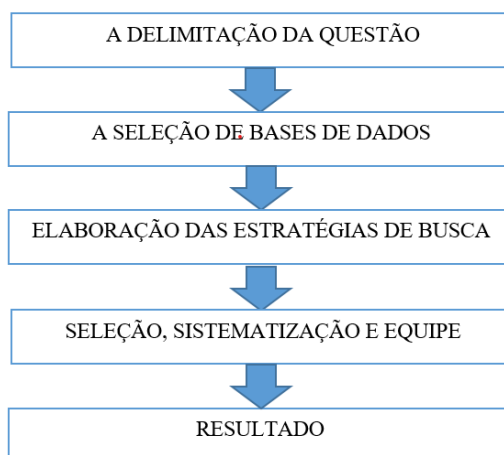
Conforme se observa no Quadro 2, os dados foram coletados e tratados de formas distintas de acordo com os objetivos específicos. As seções seguintes descrevem as etapas, procedimentos de coleta e as técnicas de análise de dados para alcance dos objetivos.

### 3.2 Revisão de literatura sobre *inputs* e *outputs* em hospitais

Foram realizadas Revisões Sistemáticas da Literatura (RSL) a fim de selecionar estudos que possibilitem identificar dados que venham a fundamentar os objetivos específicos (a e b) do estudo. A revisão de literatura é primordial na operacionalização de pesquisas científicas, descrevem Galvão e Ricarte (2019), uma vez que contribui para não duplicação de estudos, como também possibilita o reaproveitamento de estudos já aplicados ou sua aplicabilidade em contextos diferentes.

A operacionalização das revisões sistemáticas de literatura desta pesquisa ocorreu nos moldes da Figura 2.

Figura 2 – Etapas da Revisão Sistemática da Literatura



Fonte: Adaptado de Galvão e Ricarte (2019).

A delimitação da questão, conforme Figura 2, se refere ao objetivo específico “a” (Quadro 3). O estudo iniciou com a análise das *variáveis (inputs e outputs)* da eficiência técnica em hospitais de países em desenvolvimento e, para tal, se fez necessário identificar os estudos que elencam a temática na literatura. As bases de dados escolhidas foram: Wiley, Scopus, Periódicos Capes, Ebsco, Web of Science, Springerlink. A escolha das bases de dados supracitados ocorreu pela ênfase dada a temática pelas mesmas. Para operacionalizar as pesquisas nas bases de dados, foram realizadas buscas com as seguintes palavras-chave: “technical efficiency” e “hospitals”.

Foram localizados inicialmente 278 estudos em diversas bases de dados, distribuídos da seguinte forma: Scopus (65), Springerlink (61), EBSCO (58), Web of Science (54), Periódicos Capes (29), e Wiley (11). Tais estudos contribuíram para a viabilização do objetivo específico “a” (Quadro 3).

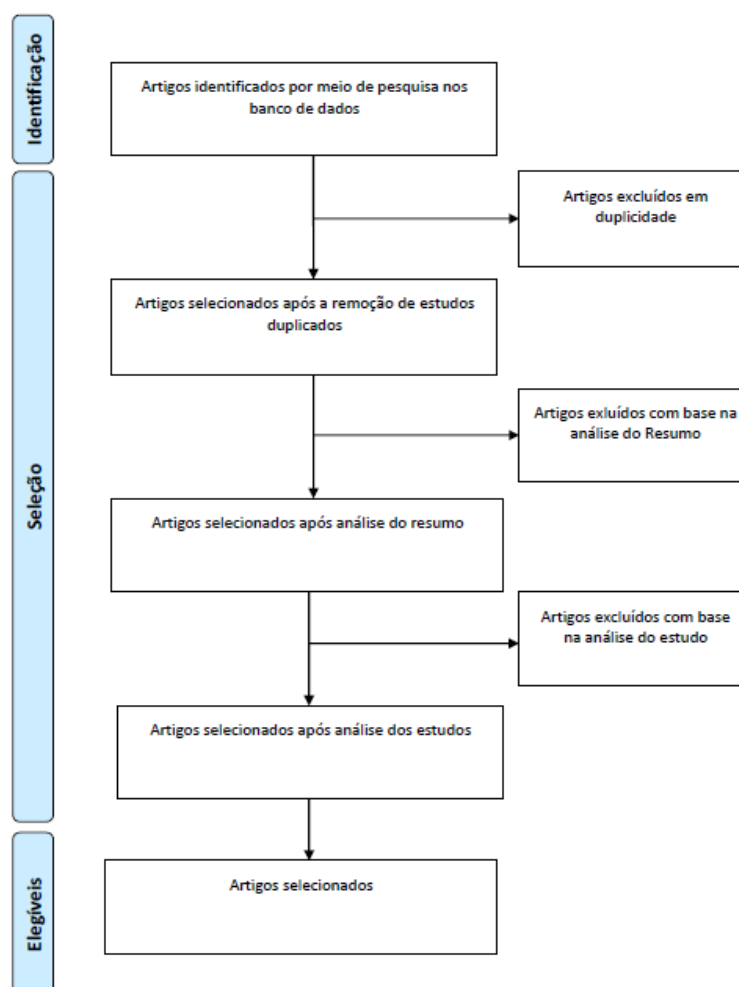
Dos 278 estudos identificados inicialmente, 98 foram identificados em duplicidade, os quais foram excluídos da amostra. Em seguida foi realizada a leitura dos resumos e foram identificados 53 estudos que não tratam sobre DEA ou não tratam de forma clara sobre *inputs* ou *outputs* voltados para a DEA, os quais também foram excluídos. E por último, após a leitura completa dos estudos, 12 eram voltados para outras técnicas de eficiência ou direcionamentos diferentes da seleção de *inputs* e *outputs*, os quais foram excluídos. Assim, foram identificados 115 estudos aptos ou elegíveis como bem descreve Moher (2009).



Entre os estudos inicialmente identificados, foram localizadas 11 revisões sistemáticas da literatura acerca da eficiência hospitalar (Afzali; Moss; Mahmood, 2009; Alatawi *et al.*, 2019; Azreena; Juni; Rosliza, 2018; Hafidz; Ensor; Tubeuf, 2018; Hollingsworth, 2003; Hussey *et al.*, 2009; Kiadaliri; Jafari; Gerdtham, 2013; Kohl *et al.*, 2019; Nguyen; Coelli, 2009; Rosko; Mutter, 2008; Worthington, 2004), que foram compiladas (Quadro 1), bem como ampliadas nesse estudo.

As revisões sistemáticas do estudo obedeceram a metodologia PRISMA (Moher *et al.*, 2009) para identificação, seleção e elegibilidade dos estudos que viabilizarão, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Método PRISMA



Fonte: Adaptado de Moher *et al.* (2009).

### 3.3 Revisão de literatura sobre métricas de seleção de variáveis

Foram identificadas as métricas de seleção de variáveis na composição da mensuração da eficiência técnica dos hospitais por meio da revisão sistemática de literatura, nos moldes das figuras 1 e 2. As seguintes bases de dados foram selecionadas: Web of Science (148), Scopus (142), Wiley (19), Pumed (7) e EMBASE (4). E, para a viabilização, foram utilizadas para buscas as palavras-chave no resumo: “selection”, “variable” e “data envelopment analysis” ou DEA.

Foram identificados nas bases supracitadas um total de 320 estudos, dos quais foram excluídos 98 após identificar que estavam em duplicidade. Seguindo a metodologia PRISMA definida por Moher *et al.* (2009), foi realizada a leitura dos resumos da amostra e identificado que 193 estudos versavam sobre a simples mensuração da eficiência ou outras temáticas, fugindo do objetivo da pesquisa que são os métodos de seleção de variáveis (*input* e *output*) para a DEA, os quais foram excluídos.

Assim, permanecerem elegíveis apenas 29 estudos, os quais foram lidos na íntegra, permanecendo elegíveis apenas 11 estudos, os demais 18 foram identificados como não elegíveis, uma vez que não tratavam sobre métodos de seleção de variáveis para a DEA.

Foram identificados previamente diversos estudos descritos na seção “2.2.2 Métodos de Seleção de *Inputs* e *Outputs*” do referencial teórico, com proposições de composições ideais de entradas e saídas, uma vez que a seleção aleatória das variáveis pode levar a resultados diversos, conforme evidenciado por Sexton, Silkman e Hogan (1986), Smith (1997) e Dyson *et al.* (2001).

Após a identificação do leque de variáveis (*Inputs* e *Outputs*) disponíveis na literatura aplicáveis a eficiência em hospitais, como também a identificação de meios de seleção de *Inputs* e *Outputs*, coletou-se os dados disponíveis dos *inputs* e *outputs* no Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) dos hospitais do Brasil, uma vez que a pesquisa foi realizada no estado do Rio Grande do Norte.

Para a sua operacionalização, foram levantados os *inputs*, *outputs* e variáveis explicativas dos hospitais regionais em estudo para avaliação da combinação ótima das variáveis por meio do algoritmo genético, descrito no tópico 2.2.4.

### 3.4 Mensuração da eficiência técnica no estudo dos hospitais do RN

Nessa seção se definem a população e amostra, as variáveis do estudo (*inputs* e *outputs*), a estatística descritiva e o modelo DEA.

#### 3.4.1 População e amostra

A população do estudo é constituída por 119 hospitais localizados no Rio Grande do Norte que atendem 100% ao Sistema Único de Saúde (SUS). Hospitais excluídos da população foram: de campanha COVID e hospitais que apresentaram dados faltantes no referido período. Assim, a amostra final foi de 44 hospitais (consideradas DMU's).

#### 3.4.2 Identificação das variáveis e estatística descritiva

Conforme já visto no tópico anterior, as variáveis foram selecionadas de acordo com os estudos anteriores sobre TE em hospitais. A partir desta identificação das variáveis, os dados foram coletados no DATASUS e CNES, para os hospitais do Estado do Rio Grande do Norte referentes ao período de 2017-2022.

As 30 variáveis (*inputs* e *outputs*) identificadas na revisão de literatura com dados disponíveis estão apresentadas no Quadro 3. Algumas variáveis foram excluídas por falta de dados em 95% dos hospitais.

Quadro 3 - Identificação das variáveis da RSL x fonte de dados

Variáveis	Fonte
<b>Leitos</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>
Leitos pediátricos	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>
<b>Valor médio mensal recebido do SUS referente às internações</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm</a>
Número de incubadoras	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_equipamentos.def">http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_equipamentos.def</a>
<b>Serviços especializados</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_servicos_especializados.def">http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_servicos_especializados.def</a>
<b>Número de equipamentos disponíveis</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_equipamentos.def">http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_equipamentos.def</a>
<b>Número de enfermeiros</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>
<b>Número de médicos</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>
<b>Total Profissionais</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>
Número de parteiras	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>
<b>Número de enfermeiras gerais</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>
Número de dentistas e farmacêuticos	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_profissionais.def">http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_profissionais.def</a>
<b>Equipe de saúde</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_profissionais.def">http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_profissionais.def</a>
<b>Outra equipe</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_profissionais.def">http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_profissionais.def</a>
<b>Número de outros profissionais</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_profissionais.def">http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_profissionais.def</a>
Número de especialistas	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_profissionais.def">http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_profissionais.def</a>
Número de técnicos e auxiliares laboratório	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_profissionais.def">http://tabnet.fiocruz.br/dhx.exe?observatorio/tb_profissionais.def</a>
Percentual de internações com uso da UTI	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm</a>
<b>Número de Autorizações de Internação Hospitalar</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm</a>
<b>Tempo médio de permanência por Ano</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm</a>
Serviço hospitalar prestado	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>
Serviço de farmácia prestado	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>
Serviço ambulatorial	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>
<b>Total de dias de permanência</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm</a>
<b>Média de diárias</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm</a>
Taxa de mortalidade infantil	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm</a>
<b>Taxa de mortalidade</b>	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_aih.htm</a>
Serviço de apoio farmácia	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>
Serviço de laboratório clínico	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>
Serviço de diagnóstico por imagem	<a href="http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm">http://tabnet.fiocruz.br/observatorio/menu_cnes.htm</a>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As variáveis consideradas no estudo são em número de 15, apresentadas no Quadro 4. As demais 15 foram excluídas por falta de dados.

Quadro 4 – Identificação e classificação das variáveis

Variáveis	Nome na base de dados
<b>Inputs</b>	
Leitos	Leitos_mes/ano
Total Profissionais	Total_profissionais_mes/ano
Valor médio mensal recebido do SUS referente às internações	valor_medio_aih_ano
Serviços especializados	serv_esp_mes_ano
Equipe de saúde	equipe_saude_mes/ano
Outra equipe	outra_equipe_mes/ano
Número de equipamentos disponíveis	equipamentos_disp_ano
Número de enfermeiros	num_enfermeiros_mes/ano
Número de médicos	num_medicos_mes/ano
Número de enfermeiras gerais	num_enfer_gerais_mes/ano
Número de outros profissionais	num_outro_pessoal_mes/ano
<b>Outputs</b>	
Número de Autorizações de Internação Hospitalar	aut_intern_hosp_aprov_ano
Tempo médio de permanência por Ano	temp_med_perman_ano
Total de dias de permanência	num_dias_perm_ano
Média de diárias	med_diarias_ano
Taxa de mortalidade infantil	taxa_mortalidade_ano

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As principais características (*inputs* e *outputs*) dos hospitais da amostra estão apresentadas no Quadro 4 – Identificação e classificação das variáveis. Foram considerados 44 hospitais com 3.186 leitos disponíveis para atendimento pelo Sistema Único de Saúde.

Tabela 4 - Medidas descritivas de *inputs* e *outputs* dos hospitais da amostra (n=44)

(continua)

Variáveis de insumos	Média	Mediana	Desvpad	Amplitude
leitos	72,41	40,5	74,94	367,0
total_profissionais	283,41	100,0	404,33	1738,0
valor_médio_aih	820,98	494,2	880,59	4808,5
serv_esp	24,98	20,0	15,78	91,0
equipe_saude	234,93	90,0	355,39	1653,0

<b>Variáveis de insumos</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desvpad</b>	<b>Amplitude</b>
equipamentos_disp	64,27	20,0	113,04	543,0
num_enfermeiros	24,66	8,0	42,84	240,0
num_medicos	65,82	19,0	113,03	615,0
num_enf_gerais	22,80	8,0	39,71	225,0
num_outro_pessoal	181,45	61,0	257,99	1192,0
<b>Variáveis de produtos</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desvpad</b>	<b>Amplitude</b>
aut_intern_hosp_aprov	2101,98	829,5	3064,10	13655,0
temp_med_perman	5209,00	4350,0	3480,00	20700,0
num_dias_perm	13396,25	3494,0	25406,41	128504,00
med_diarias	4,68	4,2	2,23	10,6
taxa_mortalidade	5,00	4,1	4,59	18,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Ainda sobre a Tabela 4, neste período foram autorizadas 92.487 internações num total de 589.435 dias de internação, refletindo uma ocupação média do sistema de 50,69%. Estes resultados foram produzidos com a disposição de mão de obra de 12.968 profissionais da saúde, sendo 2.896 médicos, 2.088 enfermeiros e 7.984 demais profissionais como técnicos e auxiliares de enfermagem, fisioterapeutas, nutricionais, etc. A razão média médicos/enfermeiros nos hospitais da amostra foi de 1,39, ou seja, segundo os dados oficiais, tem-se aproximadamente 1,4 médicos para cada enfermeiro nos hospitais da amostra. A próxima seção apresenta o modelo DEA utilizado neste estudo.

### 3.4.3 Modelo DEA

O modelo para calcular a eficiência técnica foi construído por VRS (Retorno Variáveis a Escala) com orientação a *inputs* para manter a saída e otimizar entradas (Banker, 1996). Cabe ressaltar que o modelo foi escolhido, visto que, de acordo com Macedo, Nova e Almeida (2009, p. 90): “sempre que os *outputs* forem não controláveis pelos gestores, deve-se escolher uma orientação à *inputs*”.

### 3.5 Seleção de variáveis pela análise da entropia

A fim de identificar as variáveis adequadas para a construção do modelo de Análise Envoltória de Dados buscou-se analisar a entropia de Shannon das matrizes de insumos e produtos, bem como do vetor de eficiências calculado pelo DEA. Para tanto, estes indicadores foram obtidos para a aplicação usual, com as 10 variáveis de insumos e as 5 variáveis de produtos, apresentadas no Quadro 4, além da medida de entropia para o vetor de eficiência resultante. As alternativas foram a adoção de um redimensionamento das matrizes de dados de insumos e produtos por meio de análise fatorial exploratória, com fatores extraídos pelo método das componentes principais. Por fim, foram selecionados insumos e produtos por intermédio de otimização combinatória de variáveis de insumos e produtos em uma adaptação do algoritmo genético. Neste caso buscou-se maximizar a entropia das matrizes de insumos e produtos e minimizar a entropia do vetor de eficiências obtido por meio do DEA. Ao final, uma avaliação qualitativa dos resultados é apresentada pela análise da distribuição das eficiências obtidas.

#### 3.5.1 Entropia de Shannon

Na Teoria da Informação, a entropia de Shannon descreve uma medida de incerteza de uma determinada distribuição de probabilidade. A entropia pode ser definida por uma metodologia de medir o grau médio de incerteza em meio a fontes de informação, o que conseqüentemente permite a mensuração da informação presente que se origina no sistema.

Shannon faz afirma que a informação contida em uma mensagem pode ser mensurada pela quantidade de entropia que, por seu turno, é relacionada à frequência dos nichos de símbolos que estão sendo transmitidos. A teoria da informação defende que quanto menor a quantidade de informações sobre um sistema, maior a sua entropia.

A entropia pode ser explicitamente escrita como

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_b P(x_i)$$

onde P é a probabilidade do i-ésimo resultado para a variável x.

### 3.5.2 Análise Fatorial Exploratória

A Análise Fatorial Exploratória consiste numa técnica de análise multivariada onde tem-se um conjunto de variáveis independentes e deseja-se a construção de índices ou indicadores que representem fatores ocultos. Estes fatores chamam-se variáveis latentes e usualmente representam constructos teóricos que norteiam a escolha das variáveis escolhidas (Rencher, 2002).

O objetivo da análise fatorial é o redimensionamento da base de dados de um número v de variáveis mensuráveis para um número k ( $k \ll v$ ) de variáveis latentes. O procedimento possui pressupostos básicos que necessitam ser verificados (Hair *et al.*, 2009):

- Variáveis correlacionadas ( $r > 0,30$ );
- Teste de esfericidade de Bartlett significativo (verifica se a matriz de correlações difere de uma matriz identidade);
- Adequação da amostra ( $KMO > 0,60$ ).

Adotou-se o método de extração por componentes principais para a extração de fatores e sua retenção deu-se pela análise conjunta do autovalor e percentual de variabilidade retida pelo número de fatores selecionado (autovalor  $> 1$  e Percentual de retenção superior a 80%). Foi aplicada a rotação Varimax a fim de distribuir as importâncias dos fatores e concentrar as cargas das variáveis, facilitando assim a interpretação do fator oculto (Hair *et al.*, 2009).

### 3.5.3 Algoritmo Genético

Os algoritmos genéticos foram inspirados no mecanismo da evolução das espécies, tendo como base os trabalhos de Charles Darwin e Mendel. Tais algoritmos vêm sendo utilizados com sucesso para a resolução dos mais variados e complexos tipos de problemas. Isso é possível devido a sua estrutura genérica, que



faz com que os algoritmos genéticos, ao contrário de outras meta-heurísticas, sejam aplicáveis aos mais variados tipos de problemas (Pinho *et al.*, 2013).

Os algoritmos genéticos foram introduzidos por Holland, na década de 1970 (Holland, 1975). Em uma população de possíveis soluções para um dado problema, a solução evolui de acordo com operadores probabilísticos concebidos a partir de conceitos biológicos, de modo que há uma tendência de que os indivíduos representem soluções cada vez melhores à medida que o processo avança.

Conforme Pinho *et al.* (2013), geralmente os algoritmos genéticos possuem oito componentes básicos: sua representação genética, a população inicial, a função de avaliação, o método de seleção de reprodução, os operadores genéticos, o método de seleção de gerações, os critérios de parada e os parâmetros de configuração dos algoritmos genéticos.

Segue o pseudocódigo para a implementação do Algoritmo Genético adaptado realizado:

- Inicialize a população com N soluções aleatórias;
- Avalie a aptidão de cada solução na população;
- Enquanto o critério de parada não for atingido;
- Selecione M soluções da população atual de acordo com o critério de aptidão (elitismo);
- Crie uma nova população combinando as soluções selecionadas;
- Avalie a aptidão de cada solução na nova população;
- Substitua a população atual pela nova população;
- Atualize os parâmetros do algoritmo se necessário;
- Retorne a melhor solução encontrada na última população.

Como parâmetros do algoritmo genético foram construídas populações de tamanho  $N=50$  e o algoritmo foi executado por 30 gerações. A cada população, os 3 melhores resultados foram mantidos na próxima geração. Foram executadas 100 interações do algoritmo genético onde em cada uma foi sorteado o número de insumos (entre 2 e 9) e de produtos (entre 2 e 4) a fim de evitar condições que apresentassem apenas um insumo ou produto ou ainda a totalidade de insumos e produtos o que reproduziria a solução geral da aplicação do modelo DEA tradicional.

Para cada solução de variáveis combinadas foi executada a DEA e obtidos a distribuição do vetor de eficiências (para análise qualitativa) bem como o cálculo de

sua entropia (a ser maximizado). Por outro lado, as entropias das matrizes de insumos e produtos também foram obtidas no intuito de serem minimizadas. Em resumo, o ordenamento das soluções para retenção seguiu o seguinte critério:

1. Maximizar a entropia do vetor de eficiências,
2. Minimizar a entropia da matriz de insumos, e
3. Minimizar a entropia da matriz de produtos.

### 3.6 Limitações do método/ metodologia

Com base na questão problema proposta no estudo e levando em consideração o lapso temporal disponível para realização, são apresentadas as seguintes limitações:

- d) As bases de dados utilizadas para referenciar o estudo foram restritas a Wiley, Scopus, Periódicos Capes, ProQuest, Web of Science, Springlerlink;
- e) Para avaliação do impacto das variáveis do estudo foram utilizados os três esquemas descritos na metodologia; e
- f) A pesquisa foi realizada em hospitais do estado do Rio Grande do Norte, com dados disponíveis no DATASUS.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção apresenta-se a análise dos resultados.

### 4.1 Análise de *Inputs* e *Outputs* a partir da RSL

Após a identificação dos *inputs* e *outputs* na literatura, os mesmos foram elencados na Tabela 4 – Quantidades e percentual de *Inputs* em hospitais e tabela 5 – Quantidades e percentual de *Outputs* em hospitais, seguindo a estética da pesquisa realizada por Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018). No estudo, os autores identificaram diversos *inputs* e *outputs* em 137 estudos voltados para saúde, especialmente em hospitais.

Com a revisão sistemática de Literatura com metodologia definida no tópico “3.2 Revisão sistemática de literatura sobre TE em hospitais”, foram identificados 404 *inputs* citados nos estudos identificados entre 1994 e 2019. O *input* Cama/Leitos foi o mais citado, com 85 citações, que representam 21% do total de *inputs*, corroborando os resultados de Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018), conforme Tabela 5.

O segundo *input* mais citado é o “Nº de médicos”, com 74 citações, representando 18,3%, seguido por “Nº de Enfermeiras / Enfermeiras práticas licenciadas” com 55 citações, representando 13,6% do total de *inputs* citados, mostrando-se similar com as representações de citações elencadas no estudo de Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018), conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Quantidades e percentual de *Inputs* em hospitais

(continua)

<b>Inputs</b>	<b>Quantidade</b>	<b>%</b>
<b>1. Físico</b>		
<b>1.1 Capital / Estrutural</b>		
1.1.1 Camas / Leitos	85	21,0
1.1.2 Total imobilizado	3	0,7
1.1.3 Nº de equipamentos disponíveis	2	0,5
<b>1.2 Pessoal / Materiais</b>		
1.2.1 Nº de médicos	74	18,3
1.2.2 Nº de Enfermeiras / Enfermeiras práticas licenciadas	55	13,6
1.2.3 Nº de pessoal não clínico / outras equipes	43	10,6
1.2.4 Todos os funcionários	10	2,5

<b>Inputs</b>	<b>Quantidade</b>	<b>%</b>
Nº de especialistas	9	2,2
1.2.4 Pessoal da saúde (total)	7	1,7
1.2.5 Equipe médica	6	1,5
1.2.6 Nº de paramédicos	2	0,5
1.2.7 Técnicos de laboratório	2	0,5
1.2.8 Equipe técnica	2	0,5
<b>2. Financeiro</b>		
<b>2.1 Despesa Total</b>	18	4,5
<b>2.2 Valor do Capital</b>	8	2,0
<b>2.3 Pessoal / Materiais</b>		0,0
2.3.1 Despesas de pessoal	10	2,5
2.3.2 Custo do medicamento	7	1,7
2.3.3 Gastos com materiais, insumos farmacêuticos e não farmacêuticos	7	1,7
2.3.4 Gastos com saúde	6	1,5
2.3.5 Despesas operacionais e manutenção	5	1,2
2.3.6 Despesas totais com serviços médicos externos	2	0,5
2.3.7 despesas de abastecimento	2	0,5
<b>3. Outros</b>		0,0
3.1 Mix de serviços	2	0,5
3.2 Demais Inputs com apenas uma citação	37	9,2
<b>Total de Inputs identificados</b>	<b>404</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Foram identificados estudos com os *inputs* nominados por "Gastos com suprimentos", "Despesas com Medicamentos" e "custo do medicamento", os quais foram somados, por considerar-se apenas uma questão de nomenclatura. Uma vez que os recursos são consumidos no processo produtivo voltado a saúde, considerou-se mais razoável a nomenclatura custo com medicamento. Como em alguns estudos consideraram "entrada de capital", os mesmos foram considerados nesta pesquisa como "valor de capital" pelo contexto em que estavam inseridos.

Na dimensão Financeiro da Tabela 5, estão elencados os *inputs* expressos em gastos financeiros e não em quantitativos de recursos utilizados, conforme consta na dimensão físico. Já a terceira e última dimensão nominada de "Outros" elenca dois grupos de *inputs*. O primeiro, mix de serviços representa os *inputs* com a combinação de diversos serviços, enquanto que o segundo, demais *inputs* com apenas uma citação traz o quantitativo de inputs que foram citados apenas uma única vez ao longo dos anos (1994 – 2019) do estudo.

Se faz relevante destacar que os quantitativos e percentuais deste estudo divergem de estudos realizados anteriormente, uma vez que os aspectos metodológicos podem não terem sido os mesmos, como: tempo da pesquisa, palavras-chave e bases de dados pesquisadas.

Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018) em seu estudo, identificaram 277 citações de *outputs* na literatura. Já nesse estudo foram identificados 320 *outputs* citados. A estética de classificação dos *outputs* seguiu a dos autores supracitados. Os *outputs* foram distribuídos em 4 dimensões, são elas: Atividades, Financeiros, Qualidade e Outros.

A dimensão qualidade foi a com maior representatividade de citação, representando 85,63%. Como o *output* mais representativo foi considerado o *output* de admissão ou alta, os diversos *inputs* intitulados com as diversas especialidades, que remetam as especialidades ofertadas pelos estudos, mas que fizessem referência a admissão, internação ou alta. Exemplos de especialidades ou especificidades, são: pediatria, maternidades, ambientes ambulatoriais e cirúrgicos, pacientes internos entre outros.

O segundo *output* com maior representatividade foi consultas ambulatoriais com 83 citações, representando 25,94% das citações. Estão contemplados em consultas ambulatoriais todas as consultas e visitas a pronto socorro, visitas internas e externas a pacientes que sejam similares a consultas.

Na ordem de citações, tem-se o *output* procedimentos, com 49 citações. Foram considerados como procedimentos: as cirurgias de pequeno e grande porte, como partos, interrupção de gravidez e esterilização. Estão incluídos também os nascimentos e procedimentos não cirúrgicos. Em seguida, encontra-se o *output* dias de internação, no qual estão contemplados os dias de internação nas diversas áreas, como pediátrica, psiquiátrica e obstétrica, bem como dias de terapia intensiva, conforme a Tabela 6.

Na dimensão financeiro consta apenas o *output* rendimento total, que representa o retorno financeiro da prestação dos serviços voltados a saúde nos mais diversos nichos, em sua maioria com ênfase hospitalar.

Na dimensão de *outputs* denominada qualidade estão descritos os *outputs* que representam o desempenho da organização, entre eles: taxa de mortalidade, expectativa de vida e readmissão. A Taxa de mortalidade é o *output* mais representativo em citações, com 12 citações e compreende os *outputs* taxa de

mortalidade infantil e taxa de mortalidade ajustada ao risco. A quarta e última dimensão de *outputs* denominada de “outros”, representa os *outputs* com apenas uma citação nos 25 anos analisados objeto de estudo.

Tabela 6 – Quantidades e percentual de *Outputs* em hospitais

<i>Outputs</i>	Quantidade	%
<b>1. Atividades</b>		
1.1 Admissão ou alta	89	27,81
1.2 Consultas ambulatoriais	83	25,94
1.3 Procedimentos	49	15,31
1.4 Dias de internação	35	10,94
1.5 Outros serviços	18	5,63
<b>2. Financeiro</b>		
2.2 Rendimento total	6	1,88
<b>3. Qualidade</b>		
3.1 taxa de mortalidade	12	3,75
3.2 Expectativa de vida	4	1,25
3.3 Readmissão	1	0,31
<b>4. Outros</b>	23	7,19
<b>Total</b>	320	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 4.2 Métodos de seleção de variáveis

A partir do estudo realizado por Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez e Munõz-Márquez (2018), em que identificaram diversas metodologias de mensuração de variáveis de 1982 a 2017, nesse estudo se identificou, por meio de uma RSL descrita na sessão 3, métricas de 2017 a setembro de 2023, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Métricas identificadas para a seleção de variáveis na DEA

Métodos baseados na eficiência		Métodos de estatística clássica
	1982	Lewin, Morey & Cook
	1989	Roll, Golany & Seroussy
Norman & Stoker	1991	
Banker	1996	
	1997	Ueda & Hoshiai
Lins & Moreira	1999	
Simar & Wilson	2001	Adler & Golany
Pastor, Ruiz & Sirvent	2002	
Fanchon	2003	Jenkins e Anderson
Sigala	} 2004	
Soares de Mello e others		
Ruggiero	2005	
Senra e outros	} 2007	
Wagner e Shimshak		
González-Araya e Valdés Valenzuela	2009	
	2011	Kao, Lu e Chiu
	2012	Bian
	2013	Lin & Chiu
Madhanagopal e Chandrasekaran	2014	
Sharma e Yu	2015	
Jitthavech	} 2016	
Subramanyam		
<b>Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez e Muñoz-Márquez</b>	<b>2017</b>	
<b>Wu et al.</b>	<b>2018</b>	
<b>Deng</b>	<b>2019</b>	
<b>Olfati et al.</b>	} 2020	
<b>Peyrache, Rose e Sicilia</b>		
<b>Villanueva-Cantillo e Muñoz-Márquez</b>	} 2021	
<b>Wang e Zhang</b>		
<b>Bou-Hamad, Anouze e Osman</b>	<b>2022</b>	
<b>Uluslu</b>	<b>2023</b>	

Fonte: Dados da Pesquisa (2023).

Percebe-se uma crescente a partir dos anos 2000, uma constância na produção de estudos voltados para seleção de variáveis para a DEA. Conforme identificado pelo autor supracitado. Pastor, Ruiz e Sirvent (2002) propuseram uma

metodologia de seleção de variáveis identificando um número ideal de variáveis e avaliando a contribuição das mesmas na fronteira da eficiência. Entre as diversas contribuições, alguns pesquisadores buscaram aprimorar ou fazer uso de métodos baseados na eficiência ou métodos de estatística clássica, inclusive já utilizadas, por exemplo Madhanagopal e Chandrasekaran (2014), que primeiro utilizaram um algoritmo genético para classificar as variáveis e em seguida aplicaram a metodologia proposta por Pastor, Ruiz e Sirvent (2002).

Já Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez e Muñoz-Márquez (2018) propuseram um algoritmo que tem por base as cargas das variáveis, as que possuem menores cargas vão sendo excluídas do modelo até que assuma uma carga ideal e nenhuma seja mais retirada. Wu *et al.* (2018) propuseram um modelo dividido em três fases, em que utiliza correlação de Pearson, seguido do algoritmo *bootstrapping* e por fim, a regressão Tobit para um suporte de decisão.

Deng (2019) fez uso de algoritmo computacional para seleção de variáveis. Já Olfati *et al.* (2020) e Peyrache, Rose e Sicilia (2020) fizeram uso da programação linear. Este último estudo, utilizou mais especificamente programação linear inteira mista (MILP) e analisou o desempenho do método por meio das simulações de Monte Carlo. Este método também foi utilizado por Villanueva-Cantillo e Muñoz-Márquez (2021) juntamente com o algoritmo *bootstrapping*.

Wang e Zhang (2021) fizeram uso de um modelo de avaliação da DEA, com o índice de Malmquist e seu método de decomposição. Já Bou-Hamad, Anouze e Osman (2022) fizeram uso da floresta aleatória e a entropia de Shannon para selecionar o melhor modelo de DEA e suas variáveis relevantes. Uluslu (2023) fez uso de modelos matemáticos não lineares.

#### 4.3 Análise da eficiência técnica em hospitais da amostra

Esta seção apresenta os resultados da análise de TE dos hospitais. Foram considerados como insumos 10 variáveis apresentadas no Quadro 4. Já em relação aos produtos na análise foram consideradas 5 variáveis apresentadas no mesmo quadro. A entropia calculada para a matriz de dados de insumos foi de 7,16 enquanto para a matriz de produtos foi de 7,03.



Dos 44 hospitais da amostra, 32 foram classificados como eficientes (Escore TE igual a 1, ou seja, 100%) e 12 como ineficientes. De acordo com a Tabela 8, a média geral de eficiência dos hospitais analisados é de 95,73%.

Tabela 8 – Classificação de ineficiência

Itens	Escore de Eficiência	
	VRS	
Média	95,73%	
DP	9,21%	
Intervalo TE	n	%
1	32	72,73
0.9 a 0.99	6	13,64
0.8 a 0.89	1	2,27
0.7 a 0.79	3	6,82
0.6 a 0.69	2	4,55
Total	44	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A entropia calculada para o vetor de eficiência foi equivalente a 1,82.

#### 4.4 Análise da eficiência técnica em hospitais da amostra por análise fatorial

Para análise da eficiência com redimensionamento das bases de insumos e produtos foi optado pela utilização de um procedimento de análise fatorial exploratória com fatores extraídos pelo método das componentes principais que utiliza 100% da variabilidade dos dados originais. As estatísticas de adequação da amostra bem como de avaliação de esfericidade de Bartlett são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Medidas de diagnóstico para análise fatorial exploratória

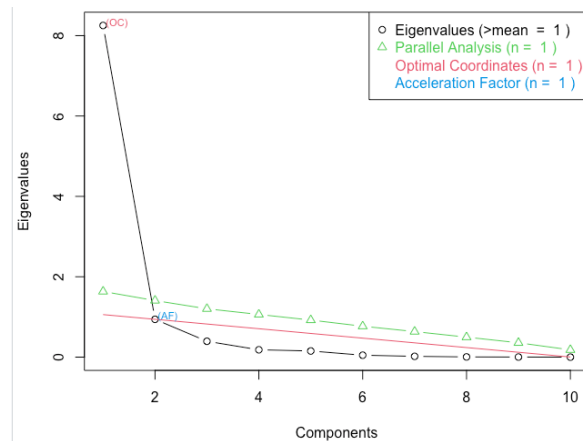
Procedimentos	Insumos	Produtos
Núm. de variáveis	10	5
Teste de Bartlett (p-valor)	1227,24 (<0,001)	189,98 (<0,001)
K-M-O	0,74	0,56

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Observa-se que para ambas as matrizes de dados, a hipótese de que a matriz de correlação é similar a uma matriz identidade é rejeitada. Considerando o teste de adequabilidade da amostra, a matriz de insumos obteve valor aceitável de acordo com a literatura. Já a matriz de produtos no teste de K-M-O apresenta resultados inferiores ao sugerido na literatura, sendo identificado na análise que a variável “Número de Autorizações de Internação Hospitalar” apresentou resultados que comprometem esta medição. Entretanto, optou-se por mantê-la na análise exploratória a fim de avaliar o peso desta nos fatores extraídos.

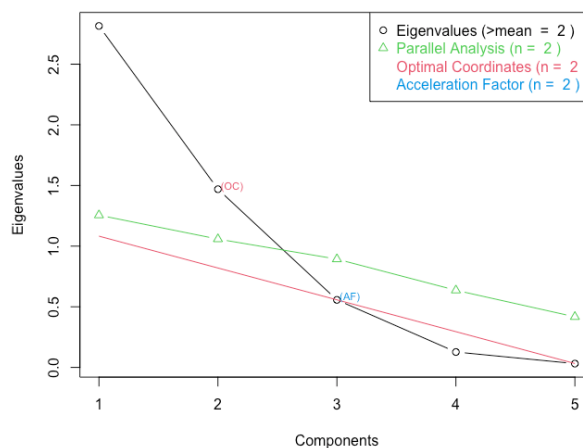
As Figuras 5 e 6 apresentam o Scree-plot avaliado para a retenção de fatores que explicam o comportamento geral dos dados.

Figura 4 - Scree-plot dos autovalores da matriz de insumos



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 5 - Scree-plot dos autovalores da matriz de produtos



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Baseado na análise dos indicadores do Scree-Plot, foi definido a retenção de um fator na matriz de insumos e dois fatores na matriz de produtos. A Tabela 10 apresenta os resultados da análise fatorial para a matriz de variáveis de insumos enquanto a Tabela 11 apresenta os resultados da análise fatorial para a matriz de variáveis de produtos. Em ambos os casos foi executada a rotação Varimax na matriz de transformação, buscando maximizar os pesos das variáveis nos fatores retidos.

Tabela 10 - Resultados da análise fatorial para a matriz de insumos

Variáveis	Pesos
Leitos	0,91
Total_profissionais	0,97
Valor_medio_aih	0,64
Serv_esp	0,89
Equipe_saude	0,98
Equipamentos_disp	0,92
Num,_enfermeiros	0,94
Num_médicos	0,96
Num_enfer_gerais	0,93
Num_outro_pessoal	0,89
Autovalor	8,25
% variância explicada	86%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 11 - Resultados a análise fatorial para a matriz de produtos

Variáveis	Fator 1	Fator 2
Aut_intern_hosp_aprov	0,02	0,98
Temp_med_perman	0,84	0,29
Num_dias_perm	0,28	0,95
Med_diárias	0,94	0,16
Taxa_mortalidade	0,80	-0,03
Autovalor	2,30	1,98
% variância explicada	46%	40%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No caso do fator único retido na matriz de insumos, obteve-se um índice geral de recursos disponíveis, sendo que quanto maior o escore do hospital neste índice, maior a disponibilidade de recursos humanos e materiais para a execução das atividades. Por sua vez, quanto menor o escore, maior a escassez de recursos disponíveis comparativamente aos demais hospitais da amostra. Já em relação a matriz de produtos, dois fatores foram retidos. Pela análise dos pesos, pode-se interpretá-los como:

- Fator 1: Complexidade. Quanto maior o escore observado, maior o tempo médio de permanência dos pacientes, maior o número médio de diárias (porte do hospital) e maior a taxa de mortalidade. Por outro lado, quanto menor o escore, menos foram os valores observados nestas variáveis.
- Fator 2: Utilização de leitos. Quanto maior o escore, maior o número de autorizações para internação e maior o número de dias de permanência. No sentido oposto, quanto menor o escore observado menor o número de autorizações e de dias de ocupação.

Considerando os escores dos fatores retidos, a entropia calculada para a matriz de fatores de insumos foi de 5,45 enquanto para a matriz de produtos foi de 6,46.

Dos 44 hospitais da amostra, em 2017, 4 foram classificados como eficientes (Escore TE igual a 1, ou seja, 100%) e, 40 como ineficientes. De acordo com a Tabela 12, a média geral de eficiência dos hospitais analisados é de 13,3%.

Tabela 12 – Classificação de ineficiência

Itens	Escore de Eficiência	
	VRS	
Média	13,30%	
DP	31,43%	
Intervalo TE	n	%
1	4	9,1
0.7 a 0.79	1	2,3
0.5 a 0.59	1	2,3
0.3 a 0.39	1	2,3
0.2 a 0.29	1	2,3
0 a 0.09	36	81,8
Total	44	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A entropia calculada para o vetor de eficiência foi equivalente a 1,05.

#### 4.5 Seleção de variáveis para análise da eficiência técnica em hospitais da amostra por algoritmo genético

No processo de seleção de variáveis para a execução da análise de eficiência pelo método DEA utilizou-se uma adaptação do algoritmo genético para o processo de seleção de variáveis. Para cada iteração (iterações = 100), foi gerada uma população de tamanho  $N=50$  onde sorteou-se um número  $k_{\text{insumos}}$  de variáveis entre as 10 variáveis de insumos (de 2 a 9 variáveis) e um número  $k_{\text{produtos}}$  de variáveis entre as 5 variáveis de produtos (de 2 a 4 variáveis). Na primeira geração foram sorteadas as  $k_{\text{insumos}}$  e  $k_{\text{produtos}}$  variáveis para cada possível solução (soluções  $N = 50$ ). O número de combinações possíveis de variáveis de produtos e insumos variando nos diferentes tamanhos de grupos é apresentado na Tabela 13. O número total de combinações possíveis de insumos e produtos, variando o número de variáveis em cada grupo é de 25.300 combinações. Para cada nova geração ( $n_{\text{gen}} = 30$ ), os melhores resultados da geração anterior são mantidos e os novos são construídos por combinação de resultados da geração anterior e sorteio.

O processamento do algoritmo foi executado em 18 minutos e 10 segundos considerando um computador Apple MacBook Air com Chip Apple M1, 8Gb de Memória e sistema operacional Ventura 13.5.2 em software R Studio versão 2023.06.1+524 provido por Posit Software, PBC e R Console versão 4.2.2 (2022-10-31), plataforma aarch64-apple-darwin20 (64-bit).

Tabela 13 - Combinações possíveis de variáveis em cada grupo de insumos e produtos

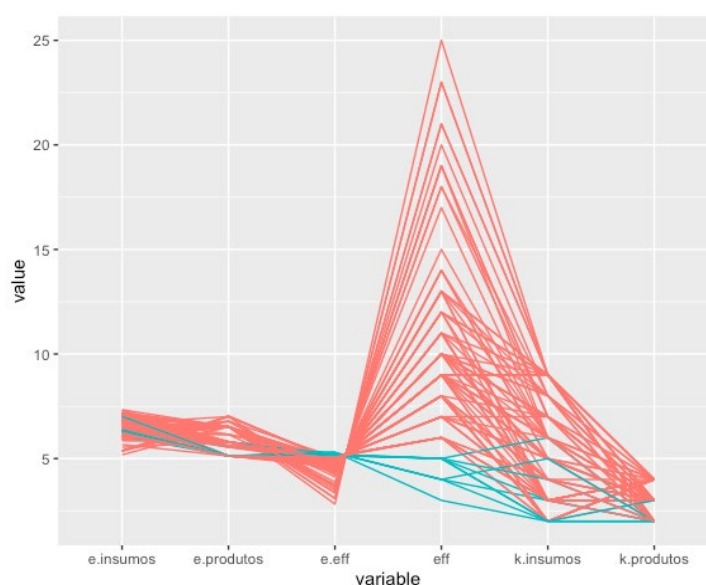
Variáveis no grupo	Insumos	Produtos
2	45	10
3	120	10
4	210	5
5	252	-
6	210	-
7	120	-
8	45	-
9	10	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As Figuras 6 a 8 apresentam diagramas de coordenadas referentes aos melhores resultados das 100 iterações realizadas no processo de otimização. No eixo das abcissas do diagrama temos as métricas entropia da matriz de insumos, produtos e do vetor de eficiências (e.insumos, e.produtos e e.eff, respectivamente), o número de hospitais (DMUs) considerados eficientes (eficiência = 1) e o número de variáveis de insumos e de produtos inseridos na análise. A Figura 6 apresenta no eixo das coordenadas os valores absolutos das métricas, a Figura 7 apresenta no mesmo eixo os valores normalizados no intervalo [0, 1], onde zero é igual ao menor valor observado e um equivale ao máximo valor observado. Os gráficos apresentam em grupos de cores os valores com entropia da eficiência maiores (em verde) e menores (em laranja) do que o quantil 0,90 da entropia. Por fim, a Figura 9 apresenta a média de cada grupo (verde e laranja) para cada variável.

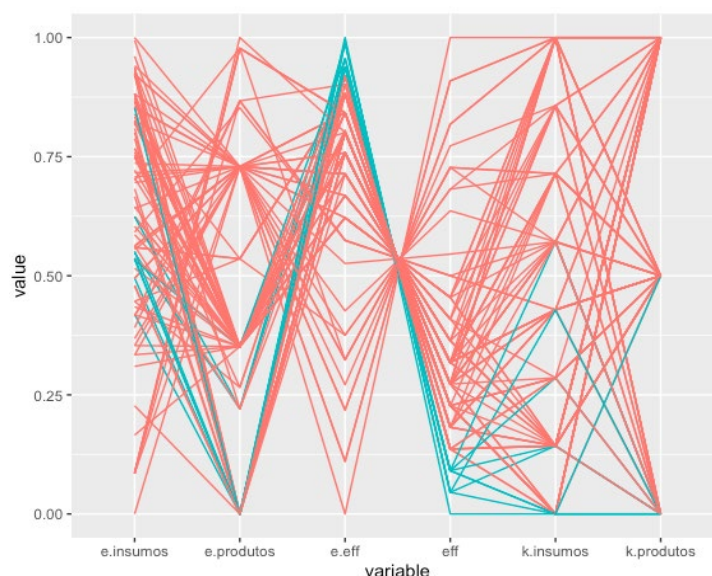
Pode-se observar na Figura 6 que, para os casos cujos valores de entropia do vetor de eficiências são menores, tem-se os casos com maior número de hospitais eficientes (eficiência = 1). Todos os hospitais com entropia do vetor de eficiências menor do que o quantil 0,90 apresentaram um número acima de seis hospitais eficientes. Por outro lado, considerando os maiores resultados de entropia do vetor de eficiências, todos os casos apresentaram 4 ou 5 hospitais eficientes apenas tendo três, quatro ou seis variáveis de insumos e duas variáveis de produtos.

Figura 6 - Resultados absolutos da otimização para cada iteração do algoritmo genético



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

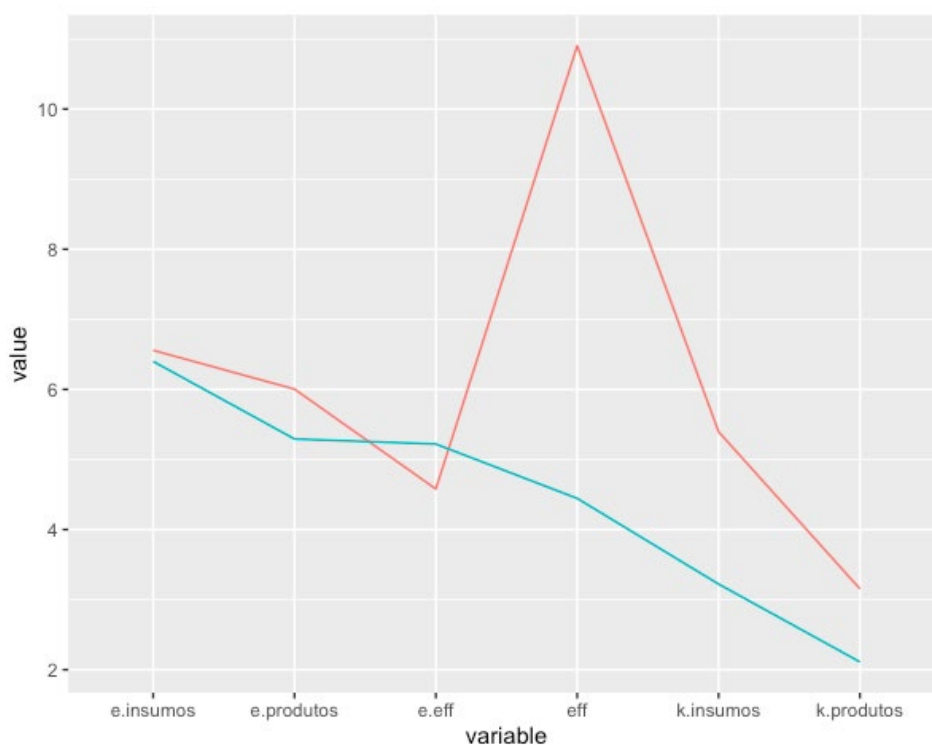
Figura 7 - Resultados normalizados da otimização para cada iteração do algoritmo genético



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 7 mostra os mesmos resultados, porém normalizados, permitindo melhor visualização dos mesmos. Percebe-se mais claramente que a entropia da matriz de insumos não apresenta alterações na distribuição de seus resultados entre os grupos com entropia do vetor de eficiência maior ou menor do que o quantil 0,9. Porém, a entropia da matriz de produtos apresenta, nos casos em que o quantil da entropia do vetor de eficiências é maior do que 0,9, uma concentração abaixo da mediana em todas as suas ocorrências. A distribuição da entropia das matrizes de insumos e produtos pode ser visualizada nos histogramas da Figuras 10 – (a) e (b). Também é possível observar mais claramente na Figura 7 que quanto maior a entropia do vetor de eficiências, menor o número de hospitais eficientes na amostra.

Figura 8 - Resultados médios dos grupos (quantil e.eff &gt; 0,90)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 8 apresenta os valores médios das leituras de cada indicador analisado. A intenção aqui não é verificar a existência de diferenças significativas entre os grupos, mas sim elucidar o que pode ser visualizado nas Figuras 6 e 7. A entropia da matriz de insumos apresenta comportamento similar em média, a entropia da matriz de produtos apresenta resultados superiores em média para os casos em que a entropia do vetor de eficiências é menor resultando em mais hospitais eficientes e com a utilização em média de mais variáveis de insumos e produtos.



Figura 9 - Distribuições das variáveis mensuradas por grupo  
(quantil e.eff > 0,90)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Considerando o caso de menor entropia do vetor das eficiências, dos 44 hospitais da amostra, 25 foram classificados como eficientes (Escore TE igual a 1, ou seja, 100%) e 19 como ineficientes. Para esta análise foram utilizadas 9 variáveis da matriz original de insumos (a variável *serv\_esp* foi excluída) e 4 variáveis da matriz original de produtos (a variável *aut\_intern\_hosp\_aprov* foi excluída). No caso onde foi encontrada a maior entropia do vetor de eficiências, dos 44 hospitais da amostra 3 foram classificados como eficientes e 41 como ineficientes. Foram utilizadas duas variáveis de insumos (*equipe\_saude* e *num\_outro\_pessoal*) e duas de produtos (*temp\_med\_perman* e *med\_diarias*) nesta análise. Os resultados da DEA nestes dois casos são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Classificação de ineficiência

Itens	Escore de Eficiência			
	VRS			
Entropia eff	2,82		5,31	
Entropia insumos	7,21		6,08	
Entropia produtos	6,53		5,13	
Média	91,60%		25,38%	
DP	12,17%		26,81%	
Intervalo TE	n	%	n	%
1	25	56,8	3	6,8
0.9 a 0.99	4	9,1	0	0,0
0.8 a 0.89	6	13,6	1	2,3
0.7 a 0.79	5	11,4	0	0,0
0.6 a 0.69	4	9,1	1	2,3
0.5 a 0.59	0	0,0	1	2,3
0.4 a 0.49	0	0,0	4	9,1
0.3 a 0.39	0	0,0	3	6,8
0.2 a 0.29	0	0,0	4	9,1
0.1 a 0.19	0	0,0	12	27,3
0 a 0.09	0	0,0	15	34,1
Total	44	100,00	44	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Os resultados confirmam a tese quando mostram que quanto maior a entropia do vetor de eficiências da análise envoltória de dados, maior a discricionariedade da distribuição das eficiências na amostra, ou seja, maior a dispersão na distribuição das eficiências no intervalo entre zero e um.

#### 4.6 Síntese e discussão dos resultados

Pode-se observar tanto nos resultados gerados na aplicação usual da DEA (contendo todas as variáveis de insumos e produtos) quanto nos resultados obtidos por redimensionamento das bases de dados por indicadores construídos pela técnica de análise fatorial que as entropias dos vetores de eficiência são relativamente baixas, apontando uma baixa discricionariedade dos resultados. Ao se observar as Tabelas 8, 12 e 14, destaca-se que a concentração de hospitais em determinado nível de eficiência é observada na aplicação usual da DEA, na aplicação com redimensionamento dos insumos e produtos e nas aplicações que geram menor entropia no vetor de eficiências. As entropias das matrizes e do vetor de eficiências são apresentadas na Tabela 15. A suposição de que uma menor entropia está associada a uma variabilidade menor não se mostrou verdadeira no caso da aplicação do redimensionamento da base de dados por análise fatorial antes da aplicação da DEA. Neste caso, os casos se distribuíram na sua maioria em valores muito baixos de eficiência com alguns sendo eficientes (isto é, eficiência =1), ampliando a variabilidade calculada pelo desvio-padrão. Isto não aconteceu em outros casos onde a concentração do nível de eficiência dos hospitais foi extrema, como no caso da aplicação do método com todas as variáveis ou quando o resultado buscava identificar a mínima entropia obtida pelo melhor resultado da iteração.

Tabela 15 - Entropia, média e desvio-padrão das eficiências

Modelo	Entropia			Média	Desvio-padrão
	Insumos	Produtos	Eficiência		
Todas variáveis	7,16	7,03	1,82	95,73%	9,21%
AF + DEA	5,45	6,46	1,05	13,30%	31,43%
AG (Min Entropia)	7,21	6,08	2,82	91,60%	12,17%
AG (Max Entropia)	6,53	5,13	5,31	25,38%	26,81%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Os resultados mostram que no caso de uma menor entropia obtida pela seleção de algumas das variáveis disponíveis, os resultados apresentam maior discricionariedade e, portanto, facilitam o processo de análise dos hospitais frente a fronteira da eficiência. A Tabela 16 mostra as estatísticas descritivas das variáveis

de insumos e produtos para cada solução analisada, comparando hospitais eficientes e ineficientes.

Tabela 16 - Médias das variáveis de insumos e produtos nos quatro modelos analisados

Variáveis (insumos e produtos)	Modelos							
	Todas variáveis		AF + DEA		AG (Min Entropia)		AG (Max Entropia)	
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
<b>Eficientes (n)</b>	32	12	4	40	25	19	3	41
Leitos	74,84	65,92	206,5	59,00	75,08	68,89	80,00	71,85
Total_profissionais	270,94	316,67	978,75	213,88	264,92	307,74	347,67	278,71
Valor_médio_aih	804,79	864,14	1596,51	743,43	847,18	786,51	1247,01	789,81
Serv_esp	23,41	29,17	37,50	23,73	22,04	28,84	19,67	25,37
Equipe_saude	221,81	269,92	816,25	176,80	220,68	253,68	289,67	230,93
Equipamentos_disp	58,50	79,67	194,75	51,23	52,92	79,21	60,33	64,56
Num_enfermeiros	22,22	31,17	83,50	18,77	21,72	28,53	38,67	23,63
Num_Medicos	57,59	87,75	162,75	56,12	53,96	81,42	47,00	67,20
Num_enfer_gerais	20,19	29,75	70,75	18,00	19,48	27,16	34,67	21,93
Num_outro_pessoal	179,72	186,08	690,50	130,55	177,24	187,00	243,67	176,90
aut_intern_hosp_apro	2402,12	1301,58	7417,50	1570,42	2195,32	1979,16	1372,33	2155,37
temp_med_perman	5,41	4,68	13,20	4,41	5,96	4,23	14,00	4,57
num_dias_perm	15616,66	7475,17	72921,00	7443,77	16845,32	8858,00	25417,33	12516,66
med_diarias	4,78	4,41	8,75	4,28	5,21	3,98	9,53	4,33
taxa_mortalidade	5,22	4,42	9,90	4,51	5,94	3,77	8,37	4,76

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A avaliação das médias mostra que se tem resultados similares em tendência nos valores médios das variáveis quando analisados os grupos de hospitais eficientes e não eficientes nas avaliações pelo método usual (com todas as variáveis) e no resultado com menor entropia entre os melhores resultados obtidos por algoritmo genético. Apenas na variável valor\_medio\_aih o valor médio entre os grupos difere em comportamento entre as duas abordagens comparadas, método usual e AG (Mínima Entropia). Note que enquanto no método usual se utilizou todas as variáveis disponíveis (10 insumos e 5 produtos), no resultado via algoritmo genético utilizou-se de 9 variáveis de insumos e 4 de produtos, de modo que estes resultados não surpreendem uma vez que a base de dados é praticamente a mesma.

A similaridade observada entre os dois modelos analisados inicialmente não é repetida quando analisados os resultados da abordagem de AF+DEA em comparação com o resultado de melhor entropia na análise via Algoritmo Genético, apesar de os dois procedimentos encontrarem número similar de hospitais eficientes (quatro e três, respectivamente).

Apesar de ambos utilizarem um número reduzido de variáveis na análise envoltória, na abordagem de AF+DEA, todas as 10 variáveis de insumos são utilizadas na construção do índice de utilização de recursos (retendo 86% da variabilidade original da matriz de dados) enquanto de todas as 5 variáveis de produtos são extraídos dois fatores de produtos: Complexidade e Utilização de leitos, que também mantém 86% da variabilidade original da matriz de dados de produtos. A análise de melhor entropia por algoritmo genético utilizou apenas duas variáveis de produtos e duas de insumos e apresentou resultados divergentes em comportamento entre os grupos em termos da média das variáveis originais no conjunto de dados.

A Tabela 17 apresenta a relação dos hospitais eficientes e ineficientes em cada método.

Apenas o Hospital Municipal de Natal e o Hospital Giselda Trigueiro atingiram escores de eficiência iguais a um em todos os métodos. Por outro lado, o Hospital Regional de Angicos, o Hospital Regional Dr. Cleodon Carlos de Andrade, o Hospital Maternidade Sara Kubitscheck, o Hospital Regional Nelson Inácio dos Santos, o Hospital Manuel Lucas de Miranda, o Hospital Regional de João Câmara, a Unidade Mat Infantil Integrada de São Paulo do Potengi, o Hospital Maternidade Garibaldi Alves Filho, o Hospital Universitário Onofre Lopes, o Hospital Rio Grande, o Hospital Dr. Percílio Alves de Oliveira e o Hospital Regional Aluizio Bezerra foram considerados ineficientes nos quatro modelos comparados nesta análise. Os demais hospitais da amostra tiveram resultados ora eficientes, ora ineficientes, dependendo da abordagem utilizada para a análise.

Como já fora anteriormente explanado, a maior dificuldade em métodos como a análise envoltória dos dados é a falta de um indicador apropriado para a verificação da qualidade do ajuste, cabendo normalmente ao analista pesquisador uma avaliação qualitativa dos resultados obtidos como resultado da análise. Nesse estudo buscou-se avaliar o cálculo da entropia como método para apoiar a avaliação dos resultados, buscando minimizar a subjetividade da avaliação. As quatro

abordagens apresentadas tiveram resultados por vezes conflitantes, sendo destacadas algumas similaridades observadas. Sob o ponto de vista qualitativo, entende-se que se de um lado, um número elevado de variáveis faz com que praticamente todos os hospitais estejam em alguma região de fronteira e conseqüentemente se tenha muitos hospitais considerados eficientes, por outro lado a redução do número de variáveis só faz sentido se a distribuição for minimamente discricionária das eficiências dos hospitais ao longo da escala de eficiências. Se como resultado da análise se obtiver um grupo concentrado de hospitais muito pouco eficientes, o processo de identificação das oportunidades de melhoria para que estes sejam eficientes possivelmente inviabilizaria a análise. E neste ponto, o cálculo da entropia do vetor de eficiências se mostrou relevante para a análise dos resultados no processo de redução e seleção das variáveis utilizadas no modelo. O resultado gerado com o maior valor de entropia do vetor de eficiências demonstrou-se satisfatório para a obtenção de resultados mais coerentes de eficiências entre os hospitais analisados.

Tabela 17 - Hospitais eficientes e ineficientes em cada método

(continua)

Hospitais	Todas variáveis	AF + DEA	AG (Min Entropia)	AG (Max Entropia)
[1,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[2,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[3,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[4,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[5,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[6,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[7,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[8,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[9,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[10,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[11,]	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[12,]	EFICIENTE	EFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[13,]	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[14,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[15,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[16,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[17,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[18,]	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[19,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[20,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[21,]	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[22,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[23,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[24,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[25,]	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[26,]	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[27,]	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE

Hospitais	Todas variáveis	AF + DEA	AG (Min Entropia)	AG (Max Entropia)
[28,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[29,]	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[30,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[31,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	EFICIENTE
[32,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[33,]	EFICIENTE	EFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[34,]	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[35,]	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[36,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[37,]	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[38,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[39,]	EFICIENTE	EFICIENTE	EFICIENTE	EFICIENTE
[40,]	EFICIENTE	EFICIENTE	EFICIENTE	EFICIENTE
[41,]	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE	INEFICIENTE
[42,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[43,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE
[44,]	EFICIENTE	INEFICIENTE	EFICIENTE	INEFICIENTE

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## 5 CONCLUSÃO

Nas últimas décadas é crescente o entusiasmo no desenvolvimento de estudos acerca da eficiência na área da saúde. De acordo Kohl *et al.* (2019), os estudos voltados para mensuração da eficiência na saúde tiveram como pontapé inicial uma pesquisa voltada para os serviços de enfermagem, desenvolvida por Nunamaker (1983).

Das diversas metodologias de mensuração da eficiência, as mais populares são a Análise da Fronteira Estocástica (SFA) e a Análise Envoltória de Dados (DEA). A DEA tem sido amplamente utilizada por pesquisadores pelas suas vantagens, mas tem como limitação a facilidade de influência dos seus resultados de acordo com as escolhas dos *inputs* e *outputs* (Azreena; Juni; Rosliza, 2018).

Assim, no presente estudo buscou-se entre os seus objetivos específicos identificar os *inputs* e *outputs* dispostos na literatura. Foram identificados 404 *inputs* citados na literatura e 320 citações de *outputs*, entre os anos de 1994 e 2019. O *input* Cama/Leitos foi o mais citado, com 85 citações, que representam 21% do total de *inputs*, corroborando os resultados de Hafidz, Ensor e Tubeuf (2018) em popularidade. O *output* mais representativo foi o nominado de admissão ou alta, com 89 citações, representando aproximadamente 28% do total de *outputs* identificados na literatura.

O objetivo específico de identificar as métricas de seleção de variáveis na composição da mensuração da eficiência técnica dos hospitais foi alcançado. Tomando por ponto de partida o estudo de Fernandez-Palacin, Lopez-Sanchez & e Munõz-Márquez (2018), foram identificados inicialmente 320 estudos, dos quais foram elegíveis 11 destes, segundo metodologia de RSL definida por Moher (2009).

Foram utilizados diversos métodos baseados na eficiência, métodos de estatística clássica entre outros para seleção de variáveis para mensuração da eficiência na DEA, dentre elas: algoritmos genéticos, correlação de Pearson, algoritmo *bootstrapping*, regressão Tobbit, simulações de Monte Carlo, programação linear, modelos matemáticos não lineares, entropia de Shannon entre outros.

Os autores analisados convergem para a dificuldade de se ter uma métrica para a seleção de variáveis e propõem abordagens para minimizar o risco de gerar interpretações equivocadas sobre a eficiência dos elementos em análise, no caso, os hospitais. A escolha da entropia como medida de qualidade do ajustamento pela



avaliação da discricionariedade na distribuição do vetor de eficiências acabou se mostrando efetiva, conforme os resultados apresentados. Cabe destacar que as expectativas acerca dos resultados da medição da entropia nas matrizes de *inputs* e *outputs* não foram confirmadas, apontando a necessidade de estudos mais aprofundados na utilização destas métricas no contexto destas matrizes no DEA.

A avaliação qualitativa aponta que entre os resultados gerados, aqueles com maiores entropias no vetor de eficiências apresentam maior discricionariedade na distribuição dos hospitais, podendo assim identificar mais claramente os atributos dos hospitais na borda de eficiência, mas principalmente, a partir da análise dos *benchmarks*, identificar mais claramente as medidas que podem ser adotadas nos hospitais não eficientes para que se tornem eficientes.

Por fim, os estudos que comparam as técnicas identificadas na literatura com os resultados desta pesquisa podem ser realizados para confirmar os resultados encontrados. Dessa forma, aprofundar a avaliação da aplicação da entropia nas matrizes de insumos e de produtos (como já destacado anteriormente), investigar alternativas para a avaliação do conjunto de variáveis selecionadas em modelos de DEA e avaliar os resultados de eficiência contra determinantes da eficiência são sugestões de pesquisas futuras a partir dos achados deste estudo.

## REFERÊNCIAS

AFZALI, Hossein Haji Ali; MOSS, John R.; MAHMOOD, Mohammad Afzal. A conceptual framework for selecting the most appropriate variables for measuring hospital efficiency with a focus on Iranian public hospitals. **Health Services Management Research**, London, v. 22, n. 2, p. 81-91, 2009. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1258/hsmr.2008.008020>. Acesso em: 20 jun. 2023.

ALATAWI, Ahmed *et al.* Systematic review and meta-analysis of public hospital efficiency studies in Gulf region and selected countries in similar settings. **Cost Effectiveness and Resource Allocation**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12962-019-0185-4>. Acesso em: 13 jun. 2023.

AZREENA, E.; JUNI, Muhamad Hanafiah; ROSLIZA, A. M. A systematic review of hospital inputs and outputs in measuring technical efficiency using data envelopment analysis. **International Journal of Public Health and Clinical Sciences**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 17-35, 2018. Disponível em: <https://publichealthmy.org/ejournal/ojs2/index.php/ijphcs/article/view/563/431>. Acesso em: 10 ago. 2023.

BANKER, Rajiv D. Hypothesis tests using data envelopment analysis. **Journal of Productivity Analysis**, Dordrecht, v. 7, p. 139-159, 1996. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00157038>. Acesso em: 20 jun. 2023.

BARROS, Emanuel de Souza; COSTA, Ecio de Farias; SAMPAIO, Yony. Análise de eficiência das empresas agrícolas do pólo Petrolina/Juazeiro utilizando a fronteira paramétrica Translog. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 42, n. 4, p. 597-614, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/dSnh6LMbbfkjWrWDFNqvnkh/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BOU-HAMAD, Imad; ANOUZE, Abdel Latef; OSMAN, Ibrahim H. A cognitive analytics management framework to select input and output variables for data envelopment analysis modeling of performance efficiency of banks using random forest and entropy of information. **Annals of Operations Research**, Amsterdam, v. 308, n. 1-2, p. 63-92, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-021-04024-0>. Acesso em: 15 jul. 2023.

CATARINA, A. S. **Algoritmos evolutivos aplicados ao processo de análise de dados geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2005.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. São Paulo: Pearson, 2002.

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

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221778901388>. Acesso em: 20 set. 2023.

COASE, Ronald H. **The nature of the firm**. [S. l.: s. n.], 1937.

COOK, Wade D.; ZHU, Joe. DEA Cobb–Douglas frontier and cross-efficiency. **Journal of the Operational Research Society**, Oxford, v. 65, n. 2, p. 265-268, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1057/jors.2013.13>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CORREIA, Marisol. **Algoritmos genéticos**. [S. l.: s. n.], 2003.

DARWIN, C. **A origem das espécies e a seleção natural**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2004.

LACERDA, Estéfane G. M. de; CARVALHO, A. C. P. L. F de. Introdução aos algoritmos genéticos. In: GALVÃO, Carlos de Oliveira; VALENÇA, Mêuser Jorge da Silva (org.). **Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais**. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 1999. p. 99-148.

DE OLIVEIRA, Nilton Marques; MARQUES, Neiva de Araújo. Função de Produção Agrícola Agregada do Estado de Mato Grosso em 1995. **Revista de Estudos Sociais**, [s. l.], v. 4, n. 8, p. 7-15, 2011. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/res/article/view/184>. Acesso em: 15 out. 2023.

DENG, Qiang. **Variable selection in data envelopment analysis**. 2019. Tese (Doutorado). Faculty of Business Administration, University of Macau, 2019.

DIAS, Carlos Antônio Ferreira; OLIVEIRA, N. M. Estudo da função de produção agropecuária agregada do Estado de Goiás. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 42., 2004. **Anais [...]**. Cuiabá: SOBER, 2004.

DYSON, RG; ALLEN, R; CAMANHO, A.S; PODINOVSKI V.V; SARRICO C.S; SHALE, E.A. Pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of operational research**, Amsterdam, v. 132, n. 2, p. 245-259, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221700001491>. Acesso em: 10 nov. 2023.

FANCHON, Phillip. Variable selection for dynamic measures of efficiency in the computer industry. **International advances in economic research**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 175-188, 2003. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02295441>. Acesso em: 12 nov. 2023.

FARRELL, Michael James. The measurement of productive efficiency. **Journal of the royal statistical society: series A (General)**, London, v. 120, n. 3, p. 253-281, 1957.

FERNANDEZ-PALACIN, Fernando; LOPEZ-SANCHEZ, Maria Auxiliadora; MUNÓZ-MÁRQUEZ, Manuel. Stepwise selection of variables in DEA using contribution loads. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, RJ, v. 38, n. 1, p. 31-52, 2018. Disponível

em: <https://www.scielo.br/j/pope/a/9X3nknh4v4WHf9FpxWKvn5k/?lang=en>. Acesso em: 20 out. 2023.

FREIRE, Adriano Higino *et al.* Eficiência econômica da cafeicultura no sul de Minas Gerais: uma aplicação da fronteira de produção. **Coffee Science**, Lavras, MG, v. 6, p. 172-183, maio/ago. 2011. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/11082>. Acesso em: 20 nov. 2023.

GALVÃO, Maria Cristiane Barbosa; RICARTE, Ivan Luiz Marques. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da informação**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019. Disponível em: <https://revista.ibict.br/fiinf/article/view/4835>. Acesso em: 10 out. 2023.

GONZÁLEZ-ARAYA, Marcela C.; VALENZUELA, Nelson G. Valdés. Método de selección de variables para mejorar la discriminación en el análisis de eficiencia aplicando modelos DEA. **Revista Ingeniería Industrial**, [s. l.], v. 8, n. 2, 2009. Disponível em: <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/74>. Acesso em: 20 out. 2023.

HAFIDZ, Firdaus; ENSOR, Tim; TUBEUF, Sandy. Efficiency measurement in health facilities: a systematic review in low-and middle-income countries. **Applied Health Economics and Health Policy**, [s. l.], v. 16, p. 465-480, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40258-018-0385-7>. Acesso em: 20 jul. 2023.

HAIR, Joseph F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

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

HANSON, Kara *et al.* Towards improving hospital performance in Uganda and Zambia: reflections and opportunities for autonomy. **Health policy**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 73-94, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168851001002123>. Acesso em: 20 jun. 2023.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial systems**. Ann Arbor, MI: The University of Michigan Press, 1975.

HOLLINGSWORTH, Bruce. Non-parametric and parametric applications measuring efficiency in health care. **Health care management science**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 203-218, 2003. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1026255523228>. Acesso em: 16 jun. 2023.

HUSSEY, Peter S. *et al.* A systematic review of health care efficiency measures. **Health services research**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 784-805, 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1475-6773.2008.00942.x>. Acesso em: 20 out. 2023.

JENKINS, Larry; ANDERSON, Murray. A multivariate statistical approach to reducing the number of variables in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 147, n. 1, p. 51-61, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221702002436>. Acesso em: 16 nov. 2023.

JITTHAVECH, Jirawan. Variable elimination in nested DEA models: a statistical approach. **International Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 389-410, 2016.

KELLY, Elaine; STOYE, George; VERA-HERNÁNDEZ, Marcos. Public hospital spending in England: evidence from National Health Service administrative records. **Fiscal Studies**, [s. l.], v. 37, n. 3-4, p. 433-459, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1475-5890.2016.12101>. Acesso em: 20 nov. 2023.

KIADALIRI, Aliasghar A.; JAFARI, Mehdi; GERDTHAM, Ulf-G. Frontier-based techniques in measuring hospital efficiency in Iran: a systematic review and meta-regression analysis. **BMC Health Services Research**, [s. l.], v. 13, p. 1-11, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/1472-6963-13-312>. Acesso em: 20 jul. 2023.

KOHL, Sebastian *et al.* The use of Data Envelopment Analysis (DEA) in healthcare with a focus on hospitals. **Health care management science**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 245-286, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10729-018-9436-8>. Acesso em: 20 nov. 2023.

LINS, Marcos Pereira Estellita; MOREIRA, M. C. B. Método IO stepwise para seleção de variáveis em modelos de análise envoltória de dados. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, RJ, v. 19, n. 1, p. 39-50, 1999.

MACEDO, Marcelo Alvaro da Silva; NOVA, Silvia Pereira de Castro Casa; ALMEIDA, Katia de. Mapeamento e análise bibliométrica da utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA) em estudos em contabilidade e administração. **Contabilidade Gestão e Governança**, [s. l.], v. 12, n. 3, 2009. Disponível em: <https://revistacgg.org/index.php/contabil/article/view/92>. Acesso em: 20 jul. 2023.

MADHANAGOPAL, R.; CHANDRASEKARAN, R. Selecting appropriate variables for DEA using genetic algorithm (GA) search procedure. **International Journal of Data Envelopment Analysis and Operations Research**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 28-33, 2014.

MARIANO, Enzo B.; ALMEIDA, Mariana R.; REBELATTO, Daisy AN. Peculiaridades da análise por envoltória de dados. *In*: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12., 2006, Bauru. **Anais [...]**. Bauru: [s. n.], 2006.

MELLO, J. C. C. B de *et al.* Selección de variables para el incremento del poder de discriminación de los modelos DEA. **Investigacion Operativa**, Rio de Janeiro, RJ, v. 12, n. 24, 2004. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/17494/1/1805.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2023.

MITCHELL, Melanie. **An introduction to genetic algorithms**. Cambridge: MIT press, 1998.

MOHER, David *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Annals of Internal Medicine**, Philadelphia, v. 151, n. 4, p. 264-269, 2009. Disponível em: <https://www.acpjournals.org/doi/full/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>. Acesso em: 20 jul. 2023.

MOHER, David, *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **PLoS medicine**, [s. l.], v. 6, n. 7, p. 336-341, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1743919110000403>. Acesso em: 15 out. 2023.

NGUYEN, K.; COELLI, T. **Quantifying the effects of modelling choices on hospital efficiency measures**: a meta-regression analysis. CEPA Working Papers Series WP072009, School of Economics, University of Queensland, Australia, 2009.

NUNAMAKER, Thomas R. Measuring routine nursing service efficiency: a comparison of cost per patient day and data envelopment analysis models. **Health Services Research**, Ann Arbor, v. 18, n. 2, p. 183, 1983. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1068745/>. Acesso em: 20 jul. 2023.

O'NEILL, Liam *et al.* A cross-national comparison and taxonomy of DEA-based hospital efficiency studies. **Socio-Economic Planning Sciences**, New York, v. 42, n. 3, p. 158-189, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038012107000201>. Acesso em: 20 nov. 2023.

OLFATI, Maryam *et al.* A new approach to solve fuzzy data envelopment analysis model based on uncertainty. **IEEE Access**, [s. l.], v. 8, p. 167300-167307, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9187242>. Acesso em: 20 jul. 2023.

OLIVEIRA, André Junior de *et al.* Programa Reuni nas instituições de Ensino Superior federal [IFES] brasileiras: um estudo da eficiência operacional por meio da análise envoltória de dados [DEA] no período de 2006 a 2012. **Race: Revista De Administração, Contabilidade e Economia**, Florianópolis, v. 13, n. 3, p. 1179-1210, 2014. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/37518/programa-reuni-nas-instituicoes-de-ensino-superior-federal--ifes--brasileiras--um-estudo-da-eficiencia-operacional-por-meio-da-analise-envoltoria-de-dados--dea--no-periodo-de-2006-a-2012>. Acesso em: 20 jun. 2023.

OZCAN, Yasar A. *et al.* Evaluating the performance of Brazilian university hospitals. **Annals of Operations Research**, Amsterdam, v. 178, n. 1, p. 247-261, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-009-0528-1>. Acesso em: 10 dez. 2023.

OZCAN, Yasar A.; LUKE, Roice D. A national study of the efficiency of hospitals in urban markets. **Health Services Research**, Ann Arbor, v. 27, n. 6, p. 719, 1993.

Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1069910/>. Acesso em: 20 jul. 2023.

PASTOR, Jesús T.; RUIZ, José L.; SIRVENT, Inmaculada. A statistical test for nested radial DEA models. **Operations Research**, [s. l.], v. 50, n. 4, p. 728-735, 2002. Disponível em: <https://pubsonline.informs.org/doi/epdf/10.1287/opre.50.4.728.2866>. Acesso em: 10 dez. 2023.

PENROSE, Edith Tilton. **The firm in theory. Small business**: critical perspectives on business and management. [S. l.: s. n.], 2000.

PEYRACHE, Antonio; ROSE, Christiern; SICILIA, Gabriela. Variable selection in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 282, n. 2, p. 644-659, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221719307842>. Acesso em: 10 dez. 2023.

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

PINHO, A. *et al.* Algoritmos genéticos: fundamentos e aplicações. *In*: LOPES, H. S.; RODRIGUES, L. C.; STEINER, M. T. A. (ed.) **Meta-heurísticas em pesquisa operacional**. Curitiba: Omnipax, 2013. p. 21-32.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Método do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

RAUPP, Fabiano Maury; BEUREN, Ilse Maria. Metodologia da pesquisa aplicável às ciências sociais. *In*: BEUREN, Ilse Maria (org.). **Metodologia da pesquisa aplicável às ciências**. Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2006. p. 76-97

RENCHER, A. C. **Methods of multivariate analysis**. Hoboken: John Wiley & Sons. Inc. Publications, 2002.

ROSKO, Michael D.; MUTTER, Ryan L. Stochastic frontier analysis of hospital inefficiency: a review of empirical issues and an assessment of robustness. **Medical Care Research and Review**, Thousand Oaks, v. 65, n. 2, p. 131-166, 2008. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1077558707307580>. Acesso em: 20 jul. 2023.

RUGGIERO, John. Impact assessment of input omission on DEA. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 359-368, 2005.

SENRA, Luis Felipe Aragão de Castro, *et al.* Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, RJ, v. 27, p. 191-207, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pope/a/ZC6wjvGbXJJjbdzfVnMwtCx/>. Acesso em: 13 out. 2023.

SEXTON, Thomas R.; SILKMAN, Richard H.; HOGAN, Andrew J. Data envelopment analysis: Critique and extensions. **New Directions for Program Evaluation**, v. 1986, n. 32, p. 73-105, 1986. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ev.1441>. Acesso em: 13 out. 2023.

SHARMA, Mithun J.; YU, Song Jin. Stepwise regression data envelopment analysis for variable reduction. **Applied Mathematics and Computation**, New York, v. 253, p. 126-134, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0096300314017044>. Acesso em: 13 nov. 2023.

SIGALA, M. *et al.* ICT paradox lost? A stepwise DEA methodology to evaluate technology investments in tourism settings. **Journal of Travel Research**, Thousand Oaks, v. 43, p. 180–192, nov. 2004. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0047287504268247>. Acesso em: 13 nov. 2023.

SIMAR, Léopold; WILSON, Paul W. Testing restrictions in nonparametric efficiency models. **Communications in Statistics-Simulation and Computation**, New York, v. 30, n. 1, p. 159-184, 2001. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/SAC-100001865>. Acesso em: 20 jul. 2023.

SMITH, Peter. Model misspecification in data envelopment analysis. **Annals of Operations Research**, Amsterdam, v. 73, p. 233-252, 1997. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1018981212364>. Acesso em: 10 jun. 2023.

SOUZA, Paulo César de; SCATENA, João Henrique G. Aplicação da gestão de custos para o aumento na eficiência dos hospitais públicos. **Revista de Administração em Saúde**, São Paulo, p. 195-207, 2010. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/porta1/resource/pt/lil-612332>. Acesso em: 25 jun. 2023.

UEDA, Tohru; HOSHIAI, Yoko. Application of principal component analysis for parsimonious summarization of DEA inputs and/or outputs. **Journal of the Operations Research Society of Japan**, Tokyo, v. 40, n. 4, p. 466-478, 1997.

ULUSLU, Ahmet. Fitting nonlinear mathematical models to the cost function of the quadrafilar helix antenna optimization problem. **Analog Integrated Circuits and Signal Processing**, [s. l.], v. 115, n. 3, p. 307-318, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10470-023-02174-8>. Acesso em: 25 jun. 2023.

VARELA, P.; PACHECO, R. S. V. M. Federalism and health expenditures: competition and cooperation in the metropolitan region of São Paulo. **Revista Contabilidade & Finanças**, São Paulo, v. 23, n. 59, p. 116-127, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcf/a/MBpsMgfmPD93L336JxwRDsw/?lang=en>. Acesso em: 25 jun. 2023.

VARIAN, Hal R. **Microeconomia**: princípios básicos. Tradução da 5. ed. Americana, por Ricardo Inojosa e Maria José Cyhlar Monteiro. Rio de Janeiro: Campus, 2000.



VASCONCELLOS, M.A.S.; GARCIA, M.E. **Fundamentos de economia**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

WAGNER, Janet M.; SHIMSHAK, Daniel G. Stepwise selection of variables in data envelopment analysis: Procedures and managerial perspectives. **European journal of operational research**, Amsterdam, v. 180, n. 1, p. 57-67, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221706002839>. Acesso em: 25 jun. 2023.

WANG, Xiaohui; ZHANG, Xin. Study on sugarcane production efficiency based on DEA-Malmquist index: a case study of 8 cities in Guangdong Province. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, [s. l.], v. 2021, p. 1-10, 2021.

WORTHINGTON, Andrew C. Frontier efficiency measurement in health care: a review of empirical techniques and selected applications. **Medical Care Research and Review**, Thousand Oaks, v. 61, n. 2, p. 135-170, 2004. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1077558704263796>. Acesso em: 20 jul. 2023.

WU, Yunna et al. Performance efficiency assessment of photovoltaic poverty alleviation projects in China: a three-phase data envelopment analysis model. **Energy**, [s. l.], v. 159, p. 599-610, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544218312520>. Acesso em: 20 jul. 2023.