



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

BRUNO FABRÍCIO LOPES DA SILVA

**EFICIÊNCIA RELATIVA DAS UNIDADES FEDERATIVAS DO BRASIL NO
COMBATE AO NÚMERO DE ÓBITOS CAUSADOS PELA COVID-19: UMA
APLICAÇÃO DA ANALISÉ ENVOLTÓRIA DE DADOS**

JOÃO PESSOA

2021

BRUNO FABRÍCIO LOPES DA SILVA

**EFICIÊNCIA RELATIVA DAS UNIDADES FEDERATIVAS DO BRASIL NO
COMBATE AO NÚMERO DE ÓBITOS CAUSADOS PELA COVID-19: UMA
APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal da Paraíba.

Orientador (a): Prof. Dr. Adriano Firmino Valdevino de Araújo

JOÃO PESSOA

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586e Silva, Bruno Fabricio Lopes da.

 Eficiência relativa das unidades federativas do Brasil no combate ao número de óbitos causados pela covid-19: uma aplicação da análise envoltória de dados / Bruno Fabricio Lopes da Silva. - João Pessoa, 2021.
 41 f. : il.

 Orientação: Adriano Firmino Valdevino de Araújo.
 TCC (Graduação) - UFPB/CCSA.

 1. Score de eficiência. 2. Covid-19. 3. Análise Envoltória de Dados - DEA. 4. Método jackstrap. I. Araújo, Adriano. II. Título.

UFPB/CCSA

CDU 33

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

AVALIAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Comunicamos à Coordenação do Curso de Graduação em Ciências Econômicas (Bacharelado) que o trabalho de conclusão de curso (TCC) do aluno **Bruno Fabrício Lopes da Silva**, matrícula **11514244**, intitulada **Eficiência Relativa das Unidades Federativas do Brasil no Combate aos Óbitos Causados Pela Covid-19: Uma Aplicação da Análise Envoltória de Dados**, foi submetido à apreciação da Comissão Examinadora, composta pelos professores: Prof. Dr. Adriano Firmino Valdevino de Araújo (orientador), Prof. Dr. Adriano Nascimento da Paixão (examinador) e Prof. Dr. Cássio da Nóbrega Besarria (examinador) no dia **22/07/2021**, às **10** horas, no período letivo 2020.2.

O TCC foi **aprovada** pela Comissão Examinadora e obteve nota **9,0 (nove)**.
Reformulações sugeridas: Sim () Não (**X**)

Atenciosamente,

Prof. Dr. Adriano Firmino Valdevino de Araújo
Orientador

Prof. Dr. Adriano Nascimento da Paixão
Examinador

Prof. Dr. Cássio da Nóbrega Besarria
Examinador(a)

Cientes:



Bruno Fabrício Lopes da Silva
Aluno

Liédje Bettizaide Oliveira de Siqueira
Coordenadora da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso

João Pessoa- PB
2021

Emitido em 23/07/2021

FOLHA Nº 000/2021 - CCSA - DE (11.01.13.02)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 23/07/2021 17:15)
LIEDJE BETTIZAIDE OLIVEIRA DE SIQUEIRA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
1466441

(Assinado digitalmente em 23/07/2021 21:09)
ADRIANO NASCIMENTO DA PAIXÃO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
1412732

(Assinado digitalmente em 23/07/2021 16:50)
ADRIANO FIRMINO VALDEVINO DE ARAUJO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
1412731

(Assinado digitalmente em 23/07/2021 16:56)
CASSIO DA NOBREGA BESARRIA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
1848107

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpb.br/documentos/> informando seu número: **000**, ano: **2021**, documento (espécie): **FOLHA**, data de emissão: **23/07/2021** e o código de verificação: **899be11a1b**

AGRADECIMENTOS

Não importa do que se trata, não há nada que se construa só. Então, quero agradecer as pessoas que de alguma forma ajudaram a construir essa etapa importante da minha vida.

Em primeiro lugar, quero agradecer a minha família por ter me apoiado em toda caminhada. Em especial, minha mãe, Maria de Fátima; meu pai, Ednaldo Lopes; minha tia, Maria de Lourdes; meu falecido tio, Antônio Ferreira; minha avó, Maria do Carmo, e meus primos, Erikson e Erika, pois sem eles, nada teria conseguido.

Acredito que não há necessidade de compartilharmos laços sanguíneos para considerar alguém um membro da família. Existem pessoas que fazem parte das nossas vidas por terem cruzado o mesmo caminho e continuarem fazendo parte dela. Sem entrar no mérito do acaso ou destino, alguns relacionamentos merecem respeito pelo impacto positivo que proporcionam em nossas vidas. Por isso, agradeço a Berg, Jayane e Gildeone, pois sem eles, a minha caminhada até aqui seria mais difícil e triste.

Durante o curso, conheci pessoas incríveis, mas sempre há aqueles que por algum motivo estavam sempre comigo. Por esta razão, deixo aqui meu agradecimento e enorme carinho por Elaine e Aleilson. Juntos, compartilhamos risadas, angustias e superamos obstáculos.

Ao meu grande orientador, Adriano Firmino, deixo meu sincero agradecimento em razão da sua dedicação, sabedoria e paciência. Em um momento tão difícil como esse que vivemos, me ajudou a superar desafios, acreditando sempre em mim.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é mensurar os *scores* de eficiência relativa das unidades federativas (UFs) do Brasil no combate aos óbitos causados pela Covid-19. Para tal, foi utilizado o método Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) e o *jackstrap*. Os resultados obtidos utilizando a DEA indicam que no primeiro período (julho/2020), 51% das unidades federativas do Brasil foram ineficientes; a eficiência média no período foi de 0,8. No segundo período (março/2021), 55% mostraram-se ineficientes, com eficiência média de 0,67. O *jackstrap* identificou que em julho de 2020 às UFs Pará (PA), Maranhão (MA) e Amazonas (AM) foram consideradas *outliers*, portanto, foram retiradas da amostra; a eficiência média foi 0,87. Em relação a março de 2021, Maranhão (MA), Pará (PA) e Sergipe (SE) foram classificadas como *outliers*, sendo assim, retiradas da amostra; a eficiência média foi 0,71.

Palavras-chave: Eficiência; Covid-19; DEA; Unidades Federativas do Brasil.

ABSTRACT

The objective of this work is measure the scores of relative efficiency in the federative units of Brazil in the fight against the deaths caused by Covid-19. To achieve such goals, the methods were used Data Envelopment Analscreen (DEA) and Jackstrap. The results obtained using the DEA indicate that in the first period (July/2020), 51% of the federative units in Brazil were inefficient; the average efficiency in the period was 0.8. In the second period (March 2021), 55% were inefficient, with an average efficiency of 0.67. The jackstrap identified that in July 2020 the federative units Pará (PA), Maranhão (MA) and Amazonas (AM) were considered outliers, therefore, they were removed from the sample; the average efficiency was 0.87. In relation to March 2021, Maranhão (MA), Pará (PA) and Sergipe (SE) were classified as outliers, thus, removed from the sample; the average efficiency was 0.71.

Keywords: Efficiency; Covid-19; DEA; Federative Units of Brazil.

LISTA DE SIGLAS

AC	Acre
AL	Alagoas
AM	Amazonas
AP	Amapá
BA	Bahia
CE	Ceará
DF	Distrito Federal
ES	Espírito Santo
GO	Goiás
MA	Maranhão
MG	Minas Gerais
MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso
PA	Pará
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
PI	Piauí
PR	Paraná
RJ	Rio de Janeiro
RN	Rio Grande do Norte
RO	Rondônia
RR	Roraima
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
SE	Sergipe
SP	São Paulo
TO	Tocantins

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1	ASPECTOS CONCEITUAIS: EFICIÊNCIA, EFICÁCIA E EFETIVIDADE.....	10
2.2	FUNDAMENTOS MICROECONÔMICOS: PRODUÇÃO	12
2.3	LITERATURA EMPÍRICA.....	14
3	METODOLOGIA	17
3.1	DEA – CCR.....	18
3.2	DEA – BCC.....	19
3.3	MÉTODO <i>JACKSTRAP</i>	20
3.4	ESTRATÉGIA EMPÍRICA E FONTE DE DADOS.....	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS	27
4.2	EFICIÊNCIA DAS DMUS	30
4.3	<i>SCORES</i> DE EFICIÊNCIA ROBUSTOS	32
5	CONCLUSÃO	36

1 INTRODUÇÃO

Em 26 de fevereiro de 2020, foi registrado o primeiro caso de Covid-19 no Brasil, doença causada pelo vírus Sars-CoV-2, da família Coronavírus. O primeiro óbito ocorreu em março de 2020, e, até então, já foram registrados mais de 19 milhões de casos confirmados e mais de 520 mil óbitos (BRASIL, 2021).

Segundo a Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (SES-MG), a Covid-19, na maioria dos casos, não oferece grandes riscos à saúde, mas, em casos mais graves, pode levar a uma Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG). Essa Síndrome causa complicações no pulmão, podendo prejudicar também outros órgãos do corpo, devido à falta de oxigenação no sangue, tendo potencial de levar à óbito.

Em períodos de normalidade, a busca pela qualidade no uso dos recursos públicos deveria ser um objetivo de organizações, instituições e gestores públicos preocupados com o bem-estar da sociedade. O gasto e políticas públicas deveriam ser sempre avaliados para que seu impacto seja verdadeiramente positivo. Em períodos de crise, como a pandemia que assola o mundo, a avaliação e a mensuração da qualidade no uso dos recursos pode trazer benefícios econômicos, sociais e ajudar a poupar vidas.

Segundo Jannuzzi (2014), os esforços teóricos e práticos para avaliar e monitorar políticas e estratégias públicas tem crescido entre pesquisadores e tomadores de decisão nas últimas décadas, após a constituição de 1988. Antes, a falta desse hábito, nos trazia o ônus de quase nunca sabermos se dada política ou estratégia cumpriu com seu objetivo previamente estabelecido. Em um cenário de recursos escassos, a falta de estatísticas e indicadores pode levar a um desperdício do dinheiro público.

O objetivo desse trabalho é mensurar os *scores* de eficiência relativa das unidades federativas (UF) do Brasil no uso dos recursos utilizados pelas unidades de saúde, públicas e privadas, no combate a Covid-19. Para tal, será usada a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA), método não-paramétrico que usa programação linear para criar uma fronteira de produção.

A técnica *jackstrap* será utilizada junto com a DEA para identificar e retirar da amostra *Decision Making Units* (DMUs) que sejam consideradas *outliers*, obtendo *scores* de eficiência robustos. As DMUs são as unidades tomadoras de decisão, nesse contexto, as unidades federativas do Brasil, ou seja, todos os estados mais o Distrito Federal. Dada a tecnologia disponível, essas DMUs utilizam (*inputs*) para gerar *output* (produto). Segundo De Sousa e

Stosic (2015), modelos que usam a DEA constroem fronteiras de eficiência com base em observações extremas, assim, outliers podem reduzir sinteticamente os scores das demais DMUs.

Os insumos utilizados foram escolhidos por causa da sua relação com o tratamento da Covid-19. São recursos físicos e humanos diretamente relacionados com a necessidade de tratamento demandada por pacientes acometidos pela doença. Para o produto, será utilizado o inverso de óbitos por 100 mil habitantes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS CONCEITUAIS: EFICIÊNCIA, EFICÁCIA E EFETIVIDADE

Como toda ciência social, dentro da ciência econômica encontram-se várias divergências sobre ideias, métodos e políticas. Mesmo que não haja um consenso sobre inúmeros temas, o cerne dessa ciência é estudar como os agentes econômicos escolhem alocar seus recursos. Esses agentes podem ser pessoas, empresas ou governos; já os recursos podem ser físicos, financeiros, humanos – ou até mesmo uma ideia.

Vasconcelos e Garcia (2008) definem economia como a ciência social que estuda como a sociedade opta por alocar seus recursos produtivos e como se dá essa distribuição no pós-produção. Mankiw (2009) define economia como o estudo de como os agentes econômicos administram os recursos escassos. Para Viceconti (2009), a escolha de como os recursos serão utilizados é importante dada a contradição existente entre os desejos ilimitados dos agentes econômicos e a escassez dos recursos disponíveis para atendê-los.

Dado o caráter alocativo da ciência econômica e o aumento da competição entre unidades econômicas, tendo como causa a globalização ou progresso técnico, a corrida em busca de processos e decisões mais eficientes dispararam. Questões como poupar ou consumir, trabalho ou lazer, produzir ou importar, para quem produzir, como produzir, mais ou menos impostos, à vista ou financiado, comprar ou alugar, protecionismo ou livre comércio, público ou privado, curto ou longo prazo... se tornaram mais estudadas e avaliadas. Quando as escolhas são executadas de maneira mais eficiente, tendem a trazer maiores resultados e benefícios para às quem executou.

Para Mattos e Terra (2015), o conceito de eficiência está intimamente ligado a qualidade que os recursos escassos são alocados, tirando o melhor proveito de sua utilização. Segundo Chiavenato (1994), a eficiência passa pela maximização da racionalidade no uso dos recursos dada a sua limitação, efetuando a melhor maneira de se fazer as coisas – trata-se de uma relação de custo-benefício.

Na microeconomia, se não houver um modo de melhorar a situação de um indivíduo sem piorar a de outro, esse estado é eficiente no sentido de Pareto, também chamado de Pareto-eficiente. O ótimo de Pareto remete a uma situação em que os recursos dentro de uma unidade econômica estão alocados de maneira ótima. (VARIAN, 2012).

Ainda, contido no conceito de eficiência, podemos encontrar três tipos básicos. O primeiro é a eficiência técnica, sendo definida como a diferença entre o produto efetivo (o que realmente foi produzido) e o produto potencial (aquele que poderia ser produzido), dada uma quantidade fixa de insumos – isso se analisado pela ótica do produto. Quando analisada pela ótica do insumo, retrata a diferença entre a quantidade efetiva de insumos para produzir um determinado nível de produto e a quantidade mínima para alcançar o mesmo produto (MATTOS; TERRA, 2015).

A eficiência alocativa é mostrada do ponto de vista financeiro. Quando se busca a maximização dos lucros, deve-se escolher o nível do produto em que a diferença entre a receita e o custo seja estritamente máxima. Analisando por outro ângulo, se o desejo for minimizar os custos, será necessário escolher o montante de insumos que irá minimizar o máximo possível os custos. Pode-se também definir a eficiência social, aquela onde a utilidade da sociedade será maximizada a tal ponto onde não será possível aumentar a produção de uma bem se reduzir a quantidade produzida de outro (MATTOS; TERRA, 2015).

A eficácia também é um conceito importante para a mensuração de resultado, mas diferente eficiência, seu centro trata da capacidade de atingir um objetivo proposto, mesmo que não alcançado da maneira mais eficiente (MATTOS; TERRA, 2015). Para Torres (2004), a eficácia não se relaciona com os meios pelo qual se chegou ao objetivo, o importante é que esse objetivo seja cumprido. Outro conceito bastante utilizado para análise de resultado é a efetividade.

Para Cohen e Franco (1993), efetividade é uma medida que mensura o grau dos efeitos de uma determinada política ou intervenção em determinada população. Torres (2004) faz uma ressalva importante sobre o conceito de efetividade, descrevendo sua ligação com a administração pública. Para o autor, essa medida se relaciona com o impacto das políticas públicas, tratando das escolhas que beneficiam um grupo em detrimento do outro – sendo a mensuração das transformações ocorridas dada as escolhas.

2.2 FUNDAMENTOS MICROECONÔMICOS: PRODUÇÃO

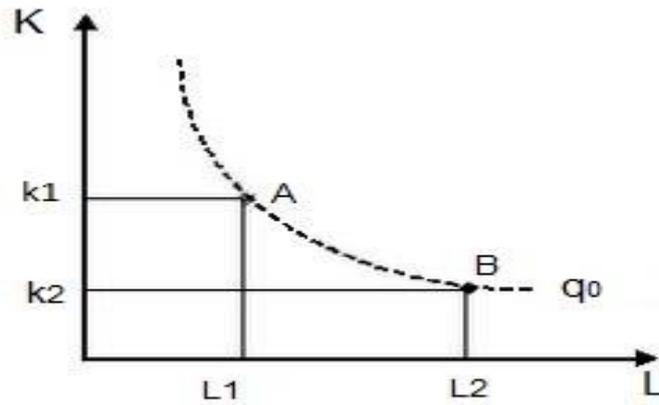
As empresas usam os fatores de produção como terra, trabalho, capital e matéria-prima para gerar um produto. Esses fatores são comumente chamados de insumos. As diferentes maneiras pela qual uma empresa pode transformar capital, trabalho e matéria-prima, e as várias combinações de insumos usadas no processo produtivo para gerar produto é chamada de tecnologia. A relação matemática entre os insumos empregados no processo produtivo e o produto gerado ao final do processo, é chamada função de produção (PINDYCK; RUBINFELD, 2014):

$$q = F(K, L) \tag{1}$$

A equação (1) mostra a forma geral de uma função de produção. Os insumos foram divididos em dois grupos gerais: Trabalho (L) e Capital (K). Em tal função mostra-se o volume máximo de produção, q , obtido por cada combinação particular de capital e trabalho. Como existem diferentes tipos de atividades produtivas, a proporção de capital e produto utilizados no processo produtivo podem variar (PINDYCK; RUBINFELD, 2014).

Para este caso, em que são usados dois insumos, K e L, existe uma maneira conveniente de ilustrar as diferentes maneiras de combinar os insumos em quantidades estritamente suficientes para gerar determinado nível de produto, por exemplo, q_0 . Como é mostrado no gráfico 1, no ponto A, é utilizada a combinação (K_1, L_2) para produzir q_0 . No ponto B, o mesmo nível de produto q_0 é alcançado, mas usando a combinação (K_2, L_2) :

Gráfico 1: Isoquanta.



Fonte: Elaboração própria.

A função de produção *Cobb-Douglas* é bastante utilizada por ser extremamente maleável, pois pode representar várias situações dentro do processo produtivo. A função tem a seguinte forma:

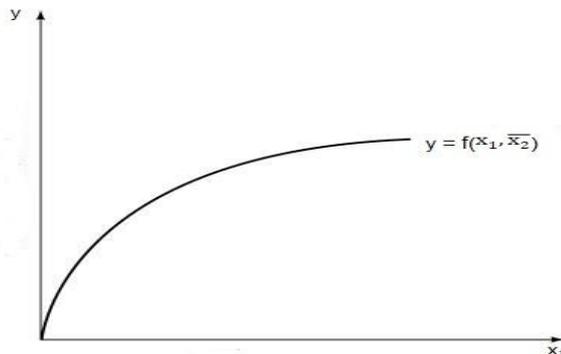
$$f(K, L) = AK^\alpha L^\beta, \quad (2)$$

onde A é uma constante positiva que representa a escala de produção; α e β são parâmetros positivos que mostram a dependência do produto em relação aos insumos – o quanto o produto responde às variações de capital e trabalho (VARIAN, 2012).

A Produtividade marginal (PMg) de um insumo, é dada pela quantidade adicional de produto gerado com a variação de uma unidade desse insumo, quando os outros se mantêm constantes. Por definição, a PMg de um insumo pode ser positiva ou nula. Mas, é razoável assumir que no curto prazo ela seja decrescente. Assim, à medida que se acrescenta mais de um insumo, o produto cresce, mas de maneira cada vez menor (VARIAN, 2012).

Esse fenômeno é chamado de Lei do produto marginal decrescente. O gráfico 3 mostra esse comportamento:

Gráfico 2: Função de produção com dois insumos.



Fonte: Elaboração própria.

Um exemplo bastante ilustrativo é de um empreendedor no agronegócio. Digamos que ele tem alguns hectares de terra e deseja contratar trabalhadores para cultivar café. À medida que os trabalhadores são empregados no cultivo, a produção aumenta, mas depois de certo ponto, o produto gerado será cada vez menor, pois não haverá mais espaço para que os novos trabalhadores possam trabalhar, dado que o insumo terra é fixo.

Já foi explicitado que uma função de produção determina o máximo de produto possível dado a quantidade de insumos. Nesse caso, $q_0 = f(K, L)$ é a fronteira de produção. Do ponto de vista técnico, é mais eficiente produzir sobre essa linha. Níveis de produção abaixo da fronteira são considerados ineficientes, pois com a mesma quantidade de insumos, seria possível produzir mais. Pontos acima da fronteira de produção não são factíveis, dada a tecnologia disponível (VARIAN, 2012).

2.3 LITERATURA EMPÍRICA

Marinho (2003) realiza um trabalho com o objetivo de mensurar os *scores* de eficiência técnica na provisão dos serviços ambulatoriais e hospitalares em 74 municípios do estado do Rio de Janeiro no ano de 1998. Para tal, usa a análise envoltória de dados (DEA). Metodologia não paramétrica que tem a capacidade de traçar uma fronteira de eficiência técnica. Por meio

de uma regressão, o trabalho também foi capaz de estimar uma relação entre variáveis como PIB, população e tempo médio de internação com uma o inverso da eficiência dos municípios, usada como *proxy* para ineficiência. O resultado mostra que apenas 17 municípios podem ser considerados eficientes. Além disso, a única variável estatisticamente significativa dentro do modelo de regressão é o tempo médio de internação, que tem uma relação positiva com a ineficiência.

Trompiere Neto *et al.* (2009) avalia a qualidade dos gastos em saúde e educação para o estado do Ceará, por meio do DEA. Considerando indicadores de insumo e produto, o trabalho buscou avaliar o impacto das gestões municipais dado os custos, e como esses eram transformados em produtos e resultados. Um modelo *tobit* foi utilizado para explicar a eficiência dos gastos nessas áreas por meio de variáveis socioeconômicas como IDH, gastos com educação, densidade populacional, gasto com saúde entre outras. O destaque vai para o IDH, onde segundo o estudo, tem uma relação significativa positiva com a eficiência no uso dos recursos com saúde e educação.

A mensuração da eficiência não se restringe apenas às áreas de saúde e educação. Faria, Januzzi e Silva (2008) fizeram uso da Análise envoltória de Dados (DEA) para mensurar os escores de eficiência dos municípios do Rio de Janeiro usando variáveis relacionadas a saneamento básico, cultura, saúde e educação, usando dados de 1999 e 2000. Foram executados dois modelos – um para saúde e saneamento outro para educação e cultura, onde cada um contou com 62 amostras. Cada município escolhido para fazer parte da amostra são chamados de Unidades tomadora de decisão (DMUs) e foram escolhidas através de uma análise exploratória de dados, afim evitar erros que comprometessem o estudo.

Ferreira e Pitta (2008) avaliaram a eficiência na utilização dos recursos captados por meio de transferências advindas do Sistema Único de Saúde (SUS) destinadas a produção laboratorial dos municípios do estado de São Paulo, utilizando a DEA. Os municípios foram divididos em 24 Direções Regionais de Saúde (DIRs), com dados referentes ao intervalo de 2000 a 2005. Concluiu-se que apenas 7 entre as 24 DIRs são eficientes, assim, menos de 30% das Direções Regionais de Saúde usam os recursos do SUS com qualidade. Em termos populacionais, menos de 40% da população reside em municípios considerados eficientes.

Fonseca e Ferreira (2009), utilizaram a DEA para apresentar *scores* de eficiência na provisão de serviços de saúde, utilizando as 66 micro regiões do estado de Minas Gerais. A justificativa para a escolha das microrregiões em vez dos municípios, está no fato de que muitos desses compartilham os recursos das microrregiões de que fazem parte. Como insumos, foram utilizados os serviços estabelecimentos de saúde, equipamentos e profissionais dessa área.

Produção ambulatorial e número de famílias acompanhadas foram utilizados como produtos. O estudo expõe que apenas 12 microrregiões têm eficiência máxima, que corresponde menos de 20% do total.

Silva e Queiroz (2018), utilizam a Análise envoltória de dados para mensurar a eficiência na gestão dos recursos destinados a saúde no ano de 2004, aplicados aos municípios do Rio Grande do Norte. Os autores ainda utilizam o índice de *malmquist* para verificar se houve crescimento da produtividade no uso dos fatores(insumos) no ano de 2008. Optou-se por utilizar o DEA com *bootstrap*, afim de evitar o enviesamento dos resultados. Dos 85 municípios escolhidos para o trabalho, apenas 42 foram considerados eficientes. Com relação ao aumento da produtividade, só 13 conseguiram uma variação positiva. Por meio de uma análise de regressão linear, tem-se que os municípios considerados ineficientes tem os maiores gastos com saúde.

Dentro de temas mais amplos como saúde e saneamento básico, há objetos de pesquisa que são mais específicos e podem ser estudados/avaliados por meio da análise envoltória de dados. Araújo *et al.* (2010) avaliou a qualidade do saneamento básico no combate a endemias. Como *DMUs*, foram escolhidas as cidades do estado do Tocantins. Como produto fora utilizadas doenças oriundas do consumo e contato com água contaminada. Para os insumos, serviços e investimentos relacionados ao saneamento básico. Apesar do uso de variações do método, no geral os resultados apontam para uma situação de baixa qualidade dos serviços de saneamento.

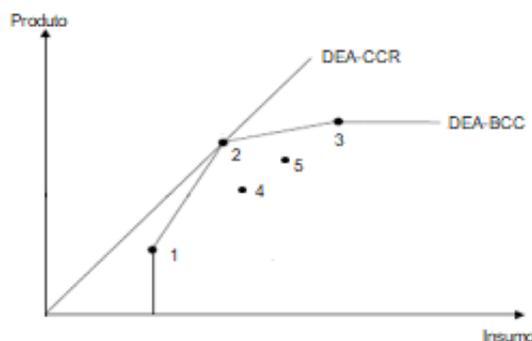
3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a mensuração da eficiência relativa das UFs no combate aos óbitos causados pela Covid-19 será à Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA). Desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), esse método não-paramétrico consiste em usar *inputs* e *outputs* gerados por *Decision Making Units* (DMUs), para calcular um escore e traçar uma fronteira de eficiência relativa para todas as DMUs da amostra (BOUERI, 2015).

Segundo Barbosa e Fuchigami (2018), é essencial que as *DMUs* comparadas sejam homogêneas, sendo essas, unidades que utilizem os mesmos insumos para gerar os mesmos produtos ou resultados.

A fronteira de eficiência Gerada através do DEA pode ser uma reta, caso considere retornos constantes, ou convexa, caso esteja admitindo retornos variáveis. Todas as unidades produtivas que estiverem localizadas sobre a fronteira de eficiência serão consideradas eficientes em consideração as que estiverem fora dessa fronteira. Uma DMU pode ser considerada eficiente se considerado retornos constantes, mas não será necessariamente eficiente se for considerado retornos variáveis (BARBOSA; FUNCHIGAMI, 2018). Os pontos 4 e 5 são considerados ineficientes, pois não estão localizados nas fronteiras eficientes. Podemos visualizar essas fronteiras no gráfico 3:

Gráfico 3: Fronteiras de Eficiência DEA-BCC e DEA-CCR.



Fonte: Elaboração própria.

3.1 DEA – CCR

Dependendo do problema que se deseja resolver, o DEA pode ser modelado de diferentes maneiras. O DEA – CCR, tem como pressuposto os retornos constantes de escala, em que variações nos *inputs* (insumos) geram variações proporcionais nos *outputs* (produtos). Desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), essa modelagem pode considerar orientação ao insumo ou ao produto.

O DEA – CCR com orientação ao insumo é utilizado quando há uma meta de produto, e deseja-se saber a eficiência com base nos insumos utilizados. Nesse caso, as DMUs que utilizarem o menor número de insumos, são consideradas mais eficientes, considerando o peso individual de cada insumo na resolução do problema (BOUERI, 2015).

Os modelos dispostos nessa seção são denominados forma envelopada da DEA, utilizando-se do teorema da dualidade da programação linear. Segundo Boueri (2015), os *scores* de eficiência gerados por meio do DEA – CCR, com orientação ao insumo, podem ser obtidos, obtendo-se o menor θ que se possa encontrar, onde θ , é o score de eficiência relativa da DMU i , como posto abaixo:

$$\underset{\theta, \lambda}{\text{mix:}} \theta_i \quad , \quad (3.1)$$

onde são impostas as seguintes restrições:

$$\text{s. t. : } \theta_i \bar{x}_i - X\bar{\lambda} \geq \bar{0}_m \quad (3.1.1)$$

$$Q\bar{\lambda} - \bar{q}_i \geq \bar{0}_s \quad (3.1.2)$$

$$\bar{\lambda} \geq \bar{0}_m \quad (3.1.3)$$

Nesse problema, \bar{q}_i é um vetor ($m \times 1$) de produtos, enquanto \bar{x}_i é um vetor ($s \times 1$) de insumos, referentes a DMU i . Esses vetores são ponderados pelo vetor ($n \times 1$) de combinações lineares $\bar{\lambda}$. Ainda nesse problema, X é uma matriz ($m \times n$) composta de todos os vetores transpostos da DMUs participantes da amostra, e Q representa uma matriz ($s \times n$) composta de vetores transpostos de produtos das DMUs que fazem parte da amostra; além disso, $\bar{0}_j$ é um vetor nulo com dimensão j requerida pelo problema (BOUERI, 2015).

O problema exige que $\bar{\lambda}$ possibilite valores ótimos de pesos para gerar combinações lineares com vetores de outputs e inputs de todas as DMUs contidas na amostra. Para que a

eficiência seja calculada de maneira correta com o DEA, é preciso que o número de DMUs contidas na amostra seja maior que a soma dos produtos e insumos envolvidos no problema (BOUERI, 2015)

O DEA – CCR também pode operar sob a ótica do produto, sendo útil quando o problema da DMU é obter máximo de produto, dada a quantidade de insumo disponível (BOUERI, 2015).

Matematicamente, o problema pode ser descrito da seguinte forma:

$$\max_{\eta, \bar{u}}: \eta_i, \quad (3.2)$$

onde η_i é a eficiência relativa da i -ésima DMU, dada as seguintes restrições:

$$\text{s. t. : } \bar{x}_1 - X\bar{u} \geq \bar{0}_m \quad (3.2.1)$$

$$Q\bar{u} - \eta\bar{q}_1 \geq \bar{0}_s \quad (3.2.2)$$

$$\bar{u} \geq \bar{0}_m, \quad (3.2.3)$$

onde \bar{u} é um vetor de pesos ótimos, que possibilita as melhores combinações lineares com os vetores de produtos e insumos de todas as DMUs.

3.2 DEA – BCC

Desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), essa modelagem permite incorporar ao problema a possibilidade de retornos variáveis, onde o produto não varia proporcionalmente às mudanças nos insumos. Segundo Boueri (2015), matematicamente, o modelo com a ótica dos insumos pode ser expresso da seguinte maneira:

$$\text{mix: } \theta_i, \quad (3.3)$$

onde são dadas as seguintes restrições:

$$\text{s. t. : } \theta_i \bar{x}_1 - X\bar{\lambda} \geq \bar{0}_m \quad (3.3.1)$$

$$Q\bar{\lambda} - \bar{q}_1 \geq \bar{0}_s \quad (3.3.2)$$

$$\bar{e}_n \bar{\lambda} = 1 \quad (3.3.3)$$

$$\bar{\lambda} \geq \bar{0}_m, \quad (3.3.4)$$

onde \bar{e}_n é um vetor com n dimensões, formado por valores unitários.

Segundo Boueri (2015), na forma voltada para o produto, o DEA – BCC pode ser escrito pelo seguinte problema de programação linear:

$$\max_{\eta, \bar{u}}: \eta_i, \quad (3.4)$$

sujeito as seguintes restrições:

$$s. t. : \bar{x}_i - X\bar{u} \geq \bar{0}_m \quad (3.4.1)$$

$$Q\bar{u} - \eta\bar{q}_i \geq \bar{0}_s \quad (3.4.2)$$

$$\bar{e}_n \bar{\lambda} = 1 \quad (3.4.3)$$

$$\bar{u} \geq \bar{0}_m \quad (3.4.4)$$

3.3 MÉTODO JACKSTRAP

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é considerado um método bastante adequado para mensurar a eficiência técnica no setor público, mas é muito sensível a observações com características muito distintas das demais, fora dos padrões das outras observações, os *outliers*. Essas observações muito distintas podem comprometer os *scores* de eficiência das demais DMUs da amostra, diminuindo-os artificialmente (DE SOUSA; STOŠIĆ, 2015).

Proposto por De Sousa e Stosic (2005), a metodologia *Jackstrap*, concilia a técnica *Jackknife* com o método *Bootstrap*, mensurando o impacto da retirada de uma dada DMU no cálculo dos *scores* de eficiência. Esse impacto é conhecido como alavancagem, e é utilizado para demonstrar quais DMUs são consideradas *outliers*, e então retira-las da amostra, computando os *scores* de eficiência robustos

A alavancagem l_j da j-ésima DMU, dada pela técnica *Jackknife*, é obtida pelo desvio padrão dos *scores* de eficiência após a sua remoção em relação ao *score* anteriormente a sua retirada:

$$l_j = \sqrt{\frac{\sum_{k=1, k \neq j}^n (\theta_{kj}^* - \theta_k)^2}{n-1}} \quad (3.5)$$

Onde n é o número de DMUs contidas na amostra, θ_k é o score de eficiência da DMU k , calculado com os dados originais; θ_{kj}^* é o score de eficiência da DMU k quando a DMU j não está inserida no cálculo. Para a resolução desse problema, é preciso que o procedimento seja realizado para cada DMU contida na amostra.

O problema com a equação (3.5) é sua intensidade em uso computacional, dificultando a sua utilização em bancos de dados maiores. Esse problema pode ser resolvido através do método *jackstrap*, proposto por Sampaio de Sousa e Stosic (2005), seguindo as seguintes etapas:

- a) De maneira aleatória é selecionada uma subamostra L , por meio da técnica *Jackknife*, que contém entre 10% e 20% das DMUs presentes no conjunto de dados, determinando um subconjunto de alavancagens \tilde{I}_j . O índice j pode assumir os valores contidos no conjunto $\{1, \dots, n\}$.
- b) A etapa a) deve ser repetida B vezes, obtendo-se as alavancagens computadas através das subamostras geradas. As DMUs precisam ser selecionadas n vezes, no qual $n_j \approx BL/n$.
- c) São computadas as alavancagens médias para cada DMU da amostra:

$$\tilde{I}_k = \frac{\sum_{b=1}^{n_k} \tilde{I}_{kb}}{n_k}, \quad (3.5.1)$$

onde \tilde{I}_k pode assumir valores entre 0 e 1; se 0, revela-se que a retirada da DMU não influencia nos *scores* de eficiência da demais DMUs; caso seja 1, a retirada da DMU modifica todos os scores de eficiência das demais DMUs da amostra de 0 para 1.

- d) Computa-se a alavancagem média para toda a amostra:

$$\tilde{I}_k = \frac{\sum_{k=1}^K \tilde{I}_k}{K}, \quad (3.5.2)$$

onde K é o tamanho da amostra.

2ª Fase: Seleção de *Outliers*:

Nessa fase, as alavancagens computadas na 1ª etapa são usadas para detectar os outliers e determinar sua exclusão da amostra. Pode-se utilizar a função de probabilidade *heaviside*, excluindo as DMUs com altas alavancagens. A função pode ser expressa da seguinte forma:

$$P(\tilde{l}_k) = \begin{cases} 1, & \tilde{l}_k < \tilde{l} \log K \\ 0, & \tilde{l}_k \geq \tilde{l} \log K \end{cases} \quad (3.5.3)$$

3.4 ESTRATÉGIA EMPÍRICA E FONTE DE DADOS

O modelo DEA utilizado nesse trabalho será o DEA-BCC com orientação ao produto, ou seja, considerando retornos variáveis de escala. Segundo Boueri (2015), há uma limitação em modelos com retornos constantes (DEA-CCR), pois esses não conseguem incorporar eventos em que há variações na escala de produção. Ademais, a escolha pela modelagem com orientação ao produto foi preferida pelo fato de querer-se medir a eficiência relativa sob uma ótica em que se procura obter o máximo possível produto dada a quantidade de insumos disponíveis; além de não haver uma meta preestabelecida de produto para as DMUs.

Em relação as DMUs, foram utilizados todas às unidades federativas do Brasil. A escolha das unidades federativas, e não os municípios, se deu pelo fato desses não disporem de informações detalhadas sobre os insumos e produto, ou até mesmo a falta desses. A escolha por municípios também teria a limitação em relação ao fluxo de pacientes entre municípios da mesma unidade da federação. Municípios menores tendem a enviar pacientes para municípios

maiores, onde dispõe-se de mais recursos, dificultando saber qual a real relação entre os pacientes que chegaram a óbito e os insumos utilizados.

Como fonte de dados, foram utilizados o Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) e Secretarias Estaduais de Saúde (SES), ambas, fontes oficiais.

A seguir, o quadro 1 traz as variáveis coletadas e suas respectivas fontes:

Quadro 1: Variáveis coletadas e suas respectivas fontes.

VARIÁVEIS	FONTE
Médico Anestesiologista	CNES
Médico em Radiologia e Diagnóstico por Imagem	CNES
Médico Cardiologista Intervencionista	CNES
Médico Cardiologista	CNES
Médico em Medicina Intensiva	CNES
Médico Infectologista	CNES
Médico Nefrologista	CNES
Médico Pneumologista	CNES
Médico Urologista	CNES
Tomógrafo Computadorizado	CNES
Usina de Oxigênio	CNES
Eletrocardiógrafo	CNES
Bomba de Infusão	CNES
Desfibrilador	CNES
Monitor de ECG	CNES
Monitor de Pressão Não-Invasivo	CNES
Reanimador Pulmonar (Ambu)	CNES
Respirador	CNES
UTI Adulto (Covid-19)	CNES
UTI Pediátrica (Covid-19)	CNES
UTI com Suporte Ventilatório Pulmonar (Covid-19)	CNES
Enfermeiros	CNES
Fisioterapeutas	CNES
Técnicos em Enfermagem	CNES
Auxiliares de Enfermagem	CNES
Óbitos (Covid-19)	SES

Fonte: Elaboração Própria.

Apesar da falta de respostas para muitas questões relacionadas a Covid-19 e seu impacto no corpo humano, alguns estudos trazem informações que guiaram nas escolhas das variáveis. Segundo Dolhnikoff *et al.* (2020), o pulmão é um dos órgãos mais afetados pelo vírus SARS-CoV-2, causador da COVID-19. Em uma pesquisa com 257 pacientes, Cummings *et al.* (2020) constataram que 74% apresentaram falta de ar, devido a ação do vírus no órgão.

Além do pulmão, outros órgãos que podem ser acometidos pela ação do vírus são coração e rins. Segundo Rodrigues *et al.* (2020), esses órgãos apresentam grandes quantidades da Enzima Conversora de Angiotensina 2 (ECA2), uma das portas de entrada do vírus nos hospedeiros.

De acordo com Wang *et al.* (2020), dos 138 pacientes internados em um hospital na cidade de Wuhan, China, mais de 16% apresentaram arritmia cardíaca após a infecção pelo SARS-CoV-2. Cummings *et al.* (2020) aponta que dos 257 pacientes envolvidos na pesquisa, 79 apresentaram lesão aguda grave nos rins.

Segundo Boueri (2015), a quantidade de DMUs inseridas na amostra deve ser maior que a soma do número de insumos e produtos usados no processo. Assim, as variáveis coletadas precisaram ser agrupadas para serem postas no modelo DEA. As variáveis Médico em Medicina Intensiva, Médico Infectologista e Médico Pneumologista foram somadas, originando a variável Médicos A; as variáveis Médico Anestesiologista, Médico em Radiologia e Diagnóstico por Imagem, Médico Cardiologista Intervencionista, Médico Cardiologista, Médico Nefrologista e Médico Urologista foram somadas e deram origem a Médicos B; técnicos em Enfermagem e Auxiliares em Enfermagem foram somadas, produzindo a variável Técnicos e Auxiliares; UTI Adulto (Covid-19), UTI Pediátrica e UTI com Suporte Ventilatório (Covid-19) também foram agrupadas por uma soma, resultando na variável UTI (Covid-19). O quadro 2 descreve as mudanças aplicadas às variáveis para se adequarem ao modelo:

Quadro 2: Descrição das alterações nas variáveis coletadas.

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO
Médicos A	Somatório das variáveis: Médico em Medicina Intensiva, Médico Infectologista, Médico Pneumologista
Médicos B	Somatório das variáveis: Médico Anestesiologista, Médico em Radiologia e Diagnóstico por Imagem, Médico Cardiologista Intervencionista, Médico Cardiologista, Médico Nefrologista e Médico Urologista.
Tomógrafo Computadorizado	Equipamento utilizado para produzir imagens de órgãos internos
Usina de Oxigênio	Equipamento utilizado para produzir oxigênio em grande escala.
Eletrocardiógrafo	Equipamento utilizado para monitorar a atividade cardíaca.
Bomba de Infusão	Equipamento utilizado para administrar medicamentos e nutrientes em quantidade controlada.
Desfibrilador	Equipamento utilizado para restabelecer o ritmo cardíaco em caso de parada cardiorrespiratória.
Monitor de ECG	Equipamento utilizado para monitorar sinais vitais.
Monitor de Pressão Não-Invasivo	Equipamento utilizado para monitorar a pressão arterial de forma não-invasiva.
Reanimador Pulmonar/Ambu	Equipamento utilizado em pacientes no atendimento de primeiros socorros em pacientes que precisam de ar nos pulmões.
Respirador	Equipamento utilizado para ventilação artificial dos pulmões em pacientes internados.
UTI (Covid-19)	Unidades de terapia intensiva exclusivas para pacientes com Covid-19 (adulto, pediátrico e com suporte para ventilador)
Enfermeiros	Profissionais de saúde graduados e aptos para atendimento (aplicações de injeções, administração de medicamentos, exames, curativos) e prevenção de doenças, tanto individual ou da família.
Fisioterapeutas	Profissionais de saúde graduados e aptos para executar técnicas e métodos, com o objetivo de restaurar e conservar a capacidade física de pacientes.
Técnicos e Auxiliares	Soma das variáveis Técnico em enfermagem e Auxiliares de enfermagem. O técnico é o profissional de nível médio com certificado técnico, responsável por auxiliar a equipe de enfermagem, atuando no contato direto com pacientes; O Auxiliar atua em casos de baixa complexidade com a supervisão de enfermeiros.
Inverso Óbitos (Covid-19)	Inverso dos óbitos causados pela Covid-19: (1/ óbitos Covid-19)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CNES e SES.

As unidades federativas, utilizadas como DMUs, possuem populações com diferentes magnitudes, assim, faz-se necessário incorporar o fator populacional ao modelo, utilizando os insumos e o produto em termos relativos, ou seja, com a unidade de medida para cada 100 mil habitantes. Essa manipulação é necessária pois é natural que UFs com populações maiores em termos absolutos, apresentem maiores quantidades de insumos e maior quantidade de óbitos por Covid-19, já que, no geral, mais pessoas podem ser contaminadas.

Matematicamente, para fazer sentido, a variável Óbitos (Covid-19) para cada 100 mil habitantes foi transformada em seu inverso, ou seja, 1/Óbitos (Covid-19) para cada 100 mil habitantes. Assim, quando os óbitos por Covid-19 crescem, seu inverso diminui. Essa variável servira ao modelo como *output*. A lógica por trás dessa manipulação está no fato de que quanto

maior o número de óbitos, menor será o seu inverso (1/Óbitos), ou seja, quando os óbitos de uma determinada DMU aumentam, o produto diminui.

O quadro 3 mostra as variáveis que serão incluídas ao modelo. São os insumos (para 100 mil habitantes) e o produto (para 100 mil habitantes), com a sua finalidade dentro do modelo e sua natureza (tipo).

Quadro 3: Variáveis (para 100 mil habitantes), sua finalidade, e seu tipo.

VARIÁVEIS	FINALIDADE	NATUREZA
Médicos A	INSUMO	RECURSO HUMANO
Médicos B	INSUMO	RECURSO HUMANO
Tomógrafo Computadorizado	INSUMO	RECURSO FÍSICO
Usina de Oxigênio	INSUMO	RECURSO FÍSICO
Eletrocardiógrafo	INSUMO	RECURSO FÍSICO
Bomba de Infusão	INSUMO	RECURSO FÍSICO
Desfibrilador	INSUMO	RECURSO FÍSICO
Monitor de ECG	INSUMO	RECURSO FÍSICO
Monitor de Pressão Não-Invasivo	INSUMO	RECURSO FÍSICO
Reanimador Pulmonar/Ambu	INSUMO	RECURSO FÍSICO
Respirador	INSUMO	RECURSO FÍSICO
UTI (Covid-19)	INSUMO	RECURSO FÍSICO
Enfermeiros	INSUMO	RECURSO HUMANO
Fisioterapeutas	INSUMO	RECURSO HUMANO
Técnicos e Auxiliares	INSUMO	RECURSO HUMANO
Inverso Óbitos (Covid-19)	PRODUTO	-

Fonte: Elaboração própria.

Os dados coletados são referentes a dois períodos: julho de 2020 e março de 2021. Essa escolha é correlacionada com o fato de, até então, serem os meses com maior¹ quantidade de óbitos causados pela doença; 32.774 e 66.429 respectivamente. Nesse caso, foram feitos dois recortes para a coleta de dados. Todos os insumos e os óbitos são referentes aos meses citados. Além de simbólico, esses períodos requerem maior necessidade qualitativa no uso dos insumos.

¹ Abril de 2021 já é o mês com maior número de óbitos por Covid-19, mas até o momento da escrita desta seção, não dispunha de dados sobre insumos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

A tabela 1 traz medidas como a média aritmética, desvio padrão, mínimo, mediana e máximo para cada insumo e produto referente a julho de 2020:

Tabela 1: Estatísticas descritivas para os insumos em julho de 2020.

Insumos ²	Média	Desv. Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
Médicos A	3,56	2,36	1,15	2,86	12,77
Médicos B	22,44	10,12	10,18	22,69	54,76
Tomógrafo Computadorizado	2,32	1,06	0,95	2,26	5,73
Usina de Oxigênio	1,87	0,62	0,70	1,78	3,27
Eletrocardiógrafo	17,33	6,48	8,27	15,66	29,01
Bomba de Infusão	101,63	57,51	34,04	97,04	314,55
Desfibrilador	18,48	7,08	8,01	17,40	37,81
Monitor de ECG	38,55	17,79	13,11	35,24	88,60
Monitor de Pressão Não-Invasivo	43,68	20,85	18,95	40,13	103,43
Reanimador Pulmonar	58,98	24,71	23,21	51,43	106,54
Respirador	33,83	13,37	17,64	29,71	79,47
UTI	10,66	3,19	6,34	9,86	20,56
Enfermeiros	135,64	24,89	83,76	133,98	208,50
Fisioterapeutas	39,01	10,37	18,25	40,27	66,54
Técnicos e Auxiliares	311,53	77,29	190,75	302,52	505,21

Fonte: Elaboração própria.

No geral, os *inputs* (insumos) escolhidos para serem incluídos no modelo podem ser divididos em dois grandes grupos: Recursos humanos e Recursos físicos. Todos os profissionais e equipamentos envolvidos no combate aos óbitos tem a sua importância, mas, entre esses, existem aqueles que podem ser considerados imprescindíveis para casos graves, por sua própria natureza; no caso dos recursos humanos, a formação; os Recursos físicos, a finalidade.

O insumo Médicos A é composto por variáveis que representam médicos com especialidades intimamente ligadas a Covid-19. Segundo a Sociedade Brasileira de Medicina Tropical (SBMT), o infectologista é um profissional capacitado para lidar com doenças infecciosas e parasitárias relacionadas à vírus, bactérias, fungos e parasitas; o Pneumologista,

² Ressaltando que os insumos estão em termos relativos (para 100 mil habitantes).

segundo a Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia (SBPT), é a especialidade médica que se dedica a prevenção e diagnóstico de doenças que atingem o sistema respiratório; por último, o Médico em Medicina Intensiva é, segundo a Associação de Medicina Intensiva Brasileira (AMIB), especialidade responsável por tratar pacientes em estado crítico alocados em unidades de terapia intensiva (UTI).

Na tabela 3, é possível observar que entre os recursos humanos, Médicos A possui a menor média (3,56), seguido de Médicos B (22,44) – insumo composto por médicos que também possuem especialidades relacionadas com a atuação do vírus no corpo humano; Técnicos e Auxiliares (311,53) e Enfermeiros (135,64) apresentam as maiores médias entre os inputs contidos em Recursos Humanos.

Com relação aos Recursos Físicos, apresentam maior média Bomba de Infusão (101,63) e Reanimador Pulmonar/Ambu (58,98); já UTI (10,66), Tomógrafo Computadorizado (2,32) e Usina de Oxigênio (1,87) apresentam as menores médias. Segundo Moreira (2020), pacientes acometidos pela forma grave da doença necessitam de internação em Unidades de Terapia Intensiva (UTI) e ventilação artificial com Oxigênio. Além de um tratamento adequado, o diagnóstico e acompanhamento da doença são primordiais para o êxito. Segundo Mogami *et al.* (2021), a tomografia computadorizada é útil para o diagnóstico e acompanhamento da gravidade da doença.

A tabela 2 traz as mesmas estatísticas para o mês de março de 2021:

Tabela 2: Estatísticas descritivas para os insumos em março de 2021.

Insumos	Média	Desv. Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
Médicos A	3,68	2,34	1,18	2,96	12,47
Médicos B	23,09	10,44	9,84	23,12	56,33
Tomógrafo Computadorizado	2,47	1,12	0,95	2,32	6,12
Usina de Oxigênio	1,92	0,66	0,76	1,92	3,67
Eletrocardiógrafo	18,14	6,78	8,94	16,30	30,25
Bomba de Infusão	111,73	52,85	36,05	106,75	299,56
Desfibrilador	19,48	7,43	8,70	18,45	40,82
Monitor de ECG	40,97	18,35	12,53	37,13	88,15
Monitor de Pressão Não-Invasivo	47,89	21,06	19,36	41,80	108,47
Reanimador Pulmonar	61,16	25,32	23,90	52,66	108,60
Respirador	38,91	13,18	20,91	36,99	83,69
UTI	17,04	4,89	10,90	15,67	34,66
Enfermeiros	146,92	27,22	90,35	143,39	228,47
Fisioterapeutas	42,71	11,33	19,72	43,42	73,58
Técnicos e Auxiliares	331,78	81,36	211,63	327,15	520,37

Fonte: Elaboração própria.

A tabela 2 pode ser analisada seguindo a mesma direção. Apesar do aumento, os *inputs* Médicos A, UTI (Covid-19), Usina de Oxigênio e Tomógrafo Computadorizado continuam apresentando as menores médias.

A tabela 3 mostra o produto para todas as unidades federativas em ambos os períodos:

Tabela 3: Produto das unidades federativas em julho/2020 e março/2021.

UF	Produto em julho de 2020	Produto em março de 2021
AC	0,054	0,034
AL	0,065	0,058
AM	0,095	0,036
AP	0,058	0,053
BA	0,093	0,042
CE	0,062	0,034
DF	0,035	0,026
ES	0,045	0,037
GO	0,060	0,024
MA	0,074	0,070
MG	0,118	0,037
MS	0,094	0,029
MT	0,029	0,019
PA	0,108	0,048
PB	0,049	0,031
PE	0,056	0,082
PI	0,049	0,047
PR	0,091	0,023
RJ	0,051	0,048
RN	0,048	0,038
RO	0,051	0,014
RR	0,028	0,026
RS	0,091	0,016
SC	0,095	0,020
SE	0,034	0,043
SP	0,056	0,031
TO	0,088	0,033

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da SES.

Minas Gerais (MG), Pará (PA) e Santa Catarina (SC) alcançaram o maior nível de produto em julho/2020. Em relação março/2021, Pernambuco (PE), Maranhão (MA) e Alagoas (AL) fora as unidades federativas com maiores níveis de produto.

4.2 EFICIÊNCIA DAS DMUS

Para fins comparativos, serão apresentadas as eficiências das DMUs obtidas através do DEA aplicado diretamente aos dados e o DEA aplicado junto ao método *jackstrap* ampliado.

Dessa forma, poderemos observar como as eficiências serão impactadas pela técnica de reamostragem que possibilita a detecção e o manejo de *outliers* dentro do modelo.

Os cálculos das eficiências, tanto do DEA simples, quanto a sua aplicação junto com o *jackstrap* ampliado foram calculados com a ajuda do *software R version 4.0.2* (R core team, 2020) e o pacote *jackstrap*.

As DMUs consideradas eficientes apresentam *score* de eficiência igual a 1. As DMUs com *score* abaixo de 1 são consideradas ineficientes em relação as demais integrantes da amostra.

A tabela 4 traz as eficiências relativas para julho de 2020 e março de 2021, obtidas pelo DEA-BCC com retornos variáveis de escala e sem o auxílio do método *jackstrap*.

Tabela 4: Eficiência relativa das DMUs.

DMU	Eficiência julho/2020	Eficiência março/2021
AC	1,00	1,00
AL	1,00	1,00
AM	1,00	1,00
AP	1,00	1,00
BA	0,86	0,66
CE	1,00	1,00
DF	0,33	0,31
ES	0,39	0,46
GO	0,64	0,36
MA	1,00	1,00
MG	1,00	0,48
MS	0,83	0,39
MT	0,28	0,25
PA	1,00	1,00
PB	1,00	1,00
PE	0,88	1,00
PI	1,00	1,00
PR	0,84	0,30
RJ	0,44	0,63
RN	0,49	0,65
RO	0,46	0,18
RR	1,00	1,00
RS	0,80	0,20
SC	0,83	0,27
SE	1,00	1,00
SP	0,48	0,37
TO	1,00	0,46

Fonte: Elaboração própria.

Em julho de 2020, das 27 DMUs, 14 apresentaram-se ineficientes, ou seja, 51% das Unidades Federativas do Brasil não conseguiram apresentar um bom desempenho no uso dos

recursos em relação as demais DMUs eficientes; nesse período, a eficiência média foi de 0,8. O grau de ineficiência é dado por $(1 - \text{eficiência relativa})$. O caso mais extremo é Mato Grosso (MT), que obteve um score de 0,28; ou seja, com a mesma quantidade de insumos utilizada, produziria 72% a mais de produto, caso fosse eficiente.

Em relação a julho de 2021, 15 DMUs foram consideradas ineficientes, em termos relativos, 55% não obtiveram *score* de eficiência igual a 1. Nesse recorte de tempo, a eficiência média diminuiu³, chegando a 0,67. Roraima (RO) foi considerada ineficiente em ambos os períodos, mas chama a atenção seu *score* de 0,18 em março/2021, sendo o menor em ambos os períodos; dessa forma, usando as mesmas quantidades de insumos, seria capaz de alcançar 82% a mais de produto.

Executando uma comparação entre os dois períodos, é possível observar que algumas DMUs que eram consideradas eficientes no em julho/2020 não conseguiram manter esse *status*; caso de Minas Gerais (MG) e Tocantins (TO). Na contramão, a DMU Pernambuco (PE), considerada ineficiente em julho/2020, obteve um *score* igual a 1 em março de 2021.

4.3 SCORES DE EFICIÊNCIA ROBUSTOS

Na subseção anterior, foram obtidos os *scores* de eficiência utilizando o DEA-BCC diretamente aos dados, sem o auxílio do método *jackstrap*. Nessa secção, serão apresentados os indicadores obtidos através do DEA-BCC aliado ao *jackstrap*. Dessa forma, é possível ter mais segurança e consistência quanto a mensuração dos *scores*, possibilitando uma análise mais coesa.

Antes de apresentar os *scores* de eficiência robustos, serão descritos os parâmetros usados no *Jackstrap*. Para o tamanho da pseudamostra, obtidos pelo *Jackknife* (L), foi utilizado 10% das DMUs contidas na amostra; enquanto a reamostragem *bootstrap*, B, foi realizada por 1.000 vezes.

³ Não é uma análise da variação da produtividade total. Trata-se apenas de uma descrição do aumento da eficiência média em relação ao período anterior. Para o calculo da variação da produtividade total, é necessário aplicar o método de malmquist, que não será abordado nesse trabalho.

Em relação a março/2020, três DMUs foram consideradas *outliers*, com isso, retiradas da amostra após a aplicação do método *Jackstrap*: Pará (PA), Maranhão (MA) e Amazonas (AM); com as seguintes alavancagens respectivamente: 0,045, 0,022 e 0,016. Em média cada DMU da amostra foi escolhida 74 vezes no método *Jackstrap*. As DMUs citadas com maior alavancagem também foram as que apresentaram o maior número de alavancagens não nula quando foram escolhidas através do método. O Pará (PA) obteve alavancagem não nula em 36% das vezes, Maranhão (MA) 23% e Amazonas (AM) 21%. Essas informações corroboram para mostrar o alto impacto dessas DMUs na amostra.

A tabela 5 traz os *scores* de eficiências robustos e os *scores* simples:

Tabela 5: DMUs e suas eficiências robustas e simples (julho/2020).

DMU	Eficiência Robusta	Eficiência Simples
AC	1,00	1,00
AL	1,00	1,00
AP	1,00	1,00
BA	1,00	0,86
CE	1,00	1,00
DF	0,37	0,33
ES	0,47	0,39
GO	1,00	0,64
MG	1,00	1,00
MS	0,96	0,83
MT	0,42	0,28
PB	1,00	1,00
PE	1,00	0,88
PI	1,00	1,00
PR	1,00	0,84
RJ	0,49	0,44
RN	1,00	0,49
RO	0,71	0,46
RR	1,00	1,00
RS	0,96	0,80
SC	0,96	0,83
SE	1,00	1,00
SP	0,54	0,48
TO	1,00	1,00

Fonte: Elaboração própria.

As DMUs Bahia (BA), Goiás (GO), Pernambuco (PE), Paraná (PR) e Rio Grande do Norte (RN) tornaram-se eficientes após o uso do *Jackstrap*. A eficiência média para o período também aumentou, saindo de 0,8 para 0,87, e para a nova amostra, o percentual de DMUs ineficientes caiu para 41%.

Para o período de julho/2021, foram usados os mesmos parâmetros para configurar o *jackstrap*. Neste período, as DMUs Maranhão (MA), Pará (PA) e Sergipe (SE) foram consideradas *outliers*; com as respectivas alavancagens: 0,097, 0,052, e 0,025. As DMUs foram selecionadas em média 74 vezes; os *outliers* MA, PA e SE obtiveram alavancagens não nulas em 39%, 39% e 25%, respectivamente, para cada vez que foram selecionadas, sendo as maiores entre o restante das *DMUs*.

A tabela 6 mostra as eficiências robustas e simples para o período de março de 2021:

Tabela 6: DMUs e suas eficiências robustas e simples (março/2021).

DMU	Eficiência Robusta	Eficiência Simples
AC	1,00	1,00
AL	1,00	1,00
AM	1,00	1,00
AP	1,00	1,00
BA	0,73	0,66
CE	1,00	1,00
DF	0,31	0,31
ES	0,46	0,46
GO	1,00	0,36
MG	0,55	0,48
MS	0,44	0,39
MT	0,31	0,25
PB	1,00	1,00
PE	1,00	1,00
PI	1,00	1,00
PR	0,36	0,30
RJ	0,69	0,63
RN	1,00	0,65
RO	0,20	0,18
RR	1,00	1,00
RS	0,20	0,20
SC	0,30	0,27
SP	0,37	0,37
TO	1,00	0,46

Fonte: Elaboração própria.

Com a aplicação do *jackstrap*, Goiás (GO), Rio Grande do Norte (RN) e Tocantins (TO) tornaram-se eficientes; a eficiência média aumentou de 0,67 para 0,71. O percentual de DMUs ineficientes atingiu 50% da nova amostra, havendo uma diminuição em relação ao DEA aplicado diretamente aos dados.

Em ambos os períodos, houve DMUs consideradas *outliers* e por isso foram excluídas da amostra. As altas alavancagens dessas DMUs podem ser causadas por distorções, erros de

medição ou simplesmente pelo fato dessas apresentarem um desempenho muito melhor que as demais no uso dos seus recursos.

Em julho/2020, todas as unidades federativas consideradas *outliers*, obtiveram níveis de produto superiores à média da amostra; em relação aos insumos, apresentaram níveis menores que a média das *DMUs* contidas na amostra. O mesmo acontece em março/2021: as unidades federativas excluídas da amostra por serem consideradas *outliers*, apresentaram níveis mais altos de produtos em relação à média; já os insumos, apenas Sergipe (SE) apresentou um número maior de Médicos B; para os demais, todas as observações classificadas como *outliers* demonstraram menores níveis de insumos em relação a média. Essas estatísticas podem indicar que essas Unidades da Federação aplicaram, de maneira substancial, seus recursos com maior qualidade.

5 CONCLUSÃO

A escolha das melhores práticas na administração pública passa pela determinação de estratégias e escolhas baseadas em dados e indicadores fundamentadas em teorias que tenham aderência empírica. As Leis, políticas públicas e direcionamento de recursos devem ser estudados e avaliados para não causar distorções na sociedade e desperdício dos recursos.

Agentes públicos, principalmente a classe política, necessitam abandonar a narrativa de que o problema está na quantidade de recursos que lhes foram repassados e focar na qualidade no uso desses. O arcabouço de técnicas que possibilitem as melhores escolhas é vasto. A estatística, econometria, pesquisa operacional e ciência de dados são algumas dessas.

A finalidade desse estudo é mensurar os *scores* de eficiência relativa das unidades federativas do Brasil no combate aos óbitos causados pela Covid-19. Para tal, foi usado o método Análise Envoltória de Dados (DEA), que pode ser utilizado no setor público ou privado. A técnica usa *inputs* (insumos) e *outputs*, que podem ser um produto ou resultados, para traçar uma fronteira eficiente de produção, conforme a tecnologia disponível.

A técnica *jackstrap* foi utilizada em conjunto com a DEA para identificar *outliers* e excluí-los da amostra. Segundo De Sousa e Stosic (2015), a presença de *outliers*, ou seja, observações discrepantes, pode reduzir falsamente os *scores* de eficiência das demais *DMUs*. Os resultados do trabalho corroboram com essa hipótese, dado o aumento do percentual de *DMUs* consideradas eficientes, além do aumento da eficiência média para ambos períodos utilizados no estudo.

As observações discrepantes podem obter esse *status* por conta de erros de medidas, distorções ou por realmente apresentarem maior qualidade no uso dos recursos disponíveis. Particularmente, as *DMUs* que foram consideradas discrepantes nesse estudo, apresentaram menores níveis de insumos em relação à média. Os resultados apresentados por essas *DMUs* também foram maiores que a média. Essas estatísticas podem indicar que essas observações foram classificadas como *outliers* dada sua eficiência ser significativamente maior que as demais.

A DEA é uma técnica considerada apropriada para mensurar a eficiência relativa de unidades produtivas, mas é preciso considerar suas limitações, como as citadas nesse trabalho. Há outras formas e combinações com outras técnicas que podem potencializar os resultados.

Dependendo do contexto e problema, métodos de regressão, uso de painel de dados, indicadores de variação de produtividade e o uso de técnicas de agrupamento podem ser empregadas junto a DEA.

Variáveis como o período escolhido para análise, insumos e produtos utilizados no modelo, podem alterar os resultados apresentados nesse trabalho. Mas as discussões e resultados apresentados podem ajudar a entender quais unidades federativas fazem melhor uso dos recursos aplicados no combate aos obtidos causados em decorrência da Covid-19.

Ademais, é coerente que as unidades da federação que foram consideradas relativamente ineficientes, repliquem ou adaptem políticas, protocolos e estratégias adotadas por aquelas que foram consideradas eficientes, com base na aplicação de estudos que comprovem o impacto positivo da adoção e/ou adaptação dessas escolhas.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Adriano Firmino Valdevino; MEDEIROS, Júlio César Lima; NASCIMENTO, Adriano Paixão; PESSÔA, Aurélio Picanço. Avaliação da eficiência dos serviços de saneamento básico no combate às endemias nos municípios do Estado do Tocantins. **Informe Gepec**, Toledo, v. 14, n. 2, p. 166-181, jul./dez. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MEDICINA INTENSIVA. **AMIB**, 2012. Medicina Intensiva – Adultos. Disponível em: <https://www.amib.org.br/noticia/nid/medicina-intensiva-adultos/>. Acesso em: 04 jul. 2020.

BARBOSA, Frederico; FUCHIGAMI, Hélio. **Análise Envoltória de Dados: Teorias e Aplicações**. 1 ed. Itumbiara: ULBRA, 2018.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boletim Epidemiológico Especial. Doença pelo Novo Coronavírus COVID-19 nº 70**. 09 jul. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/media/pdf/2021/julho/09/boletim_epidemiologico_covid_70-1.pdf

BOUERI, Rogerio. Modelos não paramétricos: Análise envoltória de Dados. *In*: BOUERI, R.; ROCHA, F.; RODOPOULOS, F. (Orgs.). **Avaliação da qualidade do gasto público e mensuração da eficiência**. Brasília: MF, 2015.

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

CUMMINGS, Matthew J. et al. Epidemiology, clinical course, and outcomes of critically ill adults with COVID-19 in New York City: a prospective cohort study. **The Lancet**, v. 395, n. 10239, p. 1763-1770, 2020.

CHIAVENATO, Idalberto. **Recursos humanos na Empresa**: pessoas, organizações e sistemas. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1994.

COHEN, Ernesto; FRANCO, Rolando. **Avaliação de Projetos Sociais**. Petrópolis: Vozes, 1993.

DOLHNIKOFF, Marisa et al. Pathological evidence of pulmonary thrombotic phenomena in severe COVID-19. **Journal of Thrombosis and Haemostasis**, v. 18, n. 6, p. 1517-1519, 2020.

JANNUZZI, P. M. Avaliação de programas sociais: conceitos e referenciais de quem a realiza. **Estudos em Avaliação Educacional**, São Paulo, v. 25, n. 58, p. 22-42, mai./ago. 2014.

DE SOUSA, Maria Da Conceição Sampaio; STOŠIĆ, Borko. Technical efficiency of the Brazilian municipalities: correcting nonparametric frontier measurements for outliers. **Journal of Productivity analysis**, v. 24, n. 2, p. 157-181, 2005.

DE SOUSA, Maria Da Conceição Sampaio; STOŠIĆ, Borko. Detecção de *outliers* em modelos não paramétricos. *In*: BOUERI, R.; ROCHA, F.; RODOPOULOS, F. (Orgs.). **Avaliação da qualidade do gasto público e mensuração da eficiência**. Brasília: MF, 2015.

DOLHNIKOFF, Marisa; NETO, Amaro Nunes Duarte; MONTEIRO, Renata Aparecida de Almeida; SILVA, Luiz Fernando Ferraz da; OLIVEIRA, Ellen Pierre de; SALDIVA, Paulo Hilário Nascimento; MAUAD, Thais; NEGRI, Elnara Marci. Pathological evidence of pulmonary thrombotic phenomena in severe COVID-19. **Journal of Thrombosis and Haemostasis** [s. l.], v. 18, n. 6, p. 1517-1519, 2020.

FARIA, F. P.; JANNUZZI, P. M.; SILVA, S. J. Eficiência dos gastos municipais em saúde e educação: uma investigação através da análise envoltória no estado do Rio de Janeiro. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 1, p. 155-177, 2008.

FERREIRA, M. P.; PITTA, M. T. Avaliação da eficiência técnica na utilização dos recursos do Sistema Único de Saúde na produção ambulatorial. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 55-71, 2008.

FONSECA, P. C.; FERREIRA, M. A. M. Investigação dos níveis de eficiência na utilização de recursos no setor de saúde: uma análise das microrregiões de Minas Gerais. **Saúde e Sociedade São Paulo**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 199-213, 2009.

Kleber Morais de Sousa, Maria da Conceicao Sampaio de Sousa and Paulo Aguiar do Monte (2020). jackstrap: Correcting Nonparametric Frontier Measurements for Outliers. R package version 0.1.0. <https://CRAN.R-project.org/package=jackstrap>

MANKIW, N. Gregory. **Introdução à Economia**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

MARINHO, Alexandre. Avaliação da eficiência técnica nos serviços de saúde nos municípios do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 3, p. 515-534, 2003.

MATTOS, Enlinson.; TERRA, Rafael. Conceitos Sobre Eficiência. *In*: BOUERI, R.; ROCHA, F.; RODOPOULOS, F. (Orgs.). **Avaliação da qualidade do gasto público e mensuração da eficiência**. Brasília: MF, 2015.

MATTOS, Enlinson.; TERRA, Rafael. Fundamentos microeconômicos da mensuração de eficiência. *In*: BOUERI, R.; ROCHA, F.; RODOPOULOS, F. (Orgs.). **Avaliação**

da qualidade do gasto público e mensuração da eficiência. Brasília: MF, 2015.

MOREIRA, Rafael da Silveira. COVID-19: unidades de terapia intensiva, ventiladores mecânicos e perfis latentes de mortalidade associados à letalidade no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, p. e00080020, 2020.

MOGAMI, Roberto et al. Tomografia computadorizada de tórax na pneumonia por COVID-19: estudo retrospectivo de 155 pacientes em um hospital universitário no Rio de Janeiro, Brasil. **Radiologia Brasileira**, v. 54, n. 1, p. 1-8, 2021.

SANDRONI, Paulo. **Dicionário de economia do século XXI.** Editora Record, 2005.

PINDYCK, Robert; RUBINFELD, Daniel L. **Microeconomia.** São Paulo: Pearson, 2014.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RODRIGUES, Carolina Magalhães Britto et al. COVID-19: sistema renal e cardíaco. **ULAKES JOURNAL OF MEDICINE**, v. 1, 2020.

SECRETARIA DE SAÚDE DO ESTADO DE MINAS GERAIS (SES-MG). **CORONAVÍRUS**, 2020. Blog Corona Vírus. Disponível em: coronavirus.saude.mg.gov.br/blog/76-o-que-caoa-a-sindrome-respiratoria-aguda-grave. Acesso em: 11 jul. 2021.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE MEDICINA TROPICAL. **SBMT**, 2019. Dia do infectologista: o que é ser infectologista nos dias de hoje. Disponível em: <https://www.sbmt.org.br/portal/dia-do-infectologista-o-que-e-ser-um-medico-infectologista-nos-dias-de- hoje>. Acesso em: 04 jul. 2021.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PNEUMOLOGIA E TISIOLOGIA. **SBPT**, 2020. Sobre a SBPT. Disponível em: <https://sbpt.org.br/portal/quem-somos-sbpt>. Acesso em: 04 jul. 2021.

SILVA, Jorge Luiz Mariano da; QUEIROZ, Maria de Fátima Medeiros. Eficiência na Gestão da Saúde Pública: uma análise dos Municípios do Estado do Rio Grande do Norte (2004 e 2008). **Planejamento e Políticas Públicas**. Brasília, n. 50, p. 149 – 170, jan./jun. 2018.

TORRES, Marcelo Douglas de Figueiredo. **Estado, democracia e administração pública no Brasil.** Rio de Janeiro: Editora FGV, 2004.

TROMPIERI NETO N., Lopes, D. A. F., Barbosa, M. P., & Holanda, M. Determinantes da eficiência dos gastos públicos municipais em educação e saúde: o caso do Ceará. In: CARVALHO, Eveline Barbosa Silva. **Economia do Ceará em Debate**. Fortaleza: IPECE, 2009. p.57-72.

VASCONCELLOS, Marco Antonio Sandoval de; GARCIA, Manuel Enriquez. **Fundamentos de Economia.** 3.ed. São Paulo: Saraiva, 2008.

VARIAN, Hal Ronald. **Microeconomia: uma abordagem moderna.** 8.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

VICECONTI, Paulo. **Introdução à economia**, 12ª edição, 12th edição. Saraiva, 07/2009.

WANG, Dawei et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus–infected pneumonia in Wuhan, China. **Jama**, v. 323, n. 11, p. 1061-1069, 2020.