



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
MESTRADO ACADÊMICO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

CAMILA CAMPOS COLARES DAS DORES

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UNIDADES DE SAÚDE UTILIZANDO A
METODOLOGIA DEA COM PONDERAÇÃO DE RESULTADOS: UM ESTUDO DE
CASO DAS POLICLÍNICAS DO ESTADO DO CEARÁ**

FORTALEZA – CEARÁ

2017

CAMILA CAMPOS COLARES DAS DORES

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UNIDADES DE SAÚDE UTILIZANDO A METODOLOGIA
DEA COM PONDERAÇÃO DE RESULTADOS: UM ESTUDO DE CASO DAS
POLICLÍNICAS DO ESTADO DO CEARÁ

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciência da Computação. Área de Concentração: Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Gerardo Valdisio Rodrigues Viana

FORTALEZA – CEARÁ

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Estadual do Ceará

Sistema de Bibliotecas

Dores, Camila Campos Colares das.

Análise da eficiência de unidades de saúde utilizando a metodologia DEA com ponderação de resultados: um estudo de caso das Policlínicas do Estado do Ceará [recurso eletrônico] / Camila Campos Colares das Dores. - 2017.

1 CD-ROM: il.; 4 ¼ pol.

CD-ROM contendo o arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico com 59 folhas, acondicionado em caixa de DVD Slim (19 x 14 cm x 7 mm).

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação, Fortaleza, 2017.

Área de concentração: Otimização Matemática.

Orientação: Prof. Dr. Gerardo Valdisio Rodrigues Viana.

1. Análise envoltória de dados. 2. Eficiência. 3. Policlínicas. I. Título.

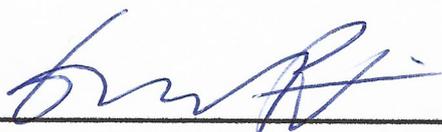
CAMILA CAMPOS COLARES DAS DORES

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UNIDADES DE SAÚDE UTILIZANDO A METODOLOGIA
DEA COM PONDERAÇÃO DE RESULTADOS: UM ESTUDO DE CASO DAS
POLICLÍNICAS DO ESTADO DO CEARÁ**

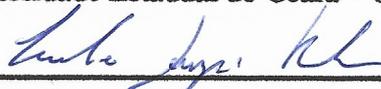
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciência da Computação. Área de Concentração: Ciência da Computação

Aprovada em: 23 de fevereiro de 2017

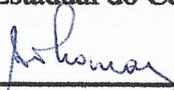
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Gerardo Valdisio Rodrigues Viana (Orientador)
Universidade Estadual do Ceará - UECE



Prof. Dr. Leonardo Sampaio Rocha
Universidade Estadual do Ceará - UECE



Prof. Dr. Antônio Clécio Fontelles Thomaz
Universidade Federal do Ceará - UFC

À minha mãe, Marta (in memoriam). Obrigada por sonhar que este momento se tornaria realidade, acreditando na minha capacidade até quando eu mesma não acreditei.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e acima de tudo, agradeço a Deus por dar-me forças e ânimo quando estes me faltaram, quando tudo em que eu pensava era em desistir.

Alguns alunos encaram a escolha do orientador como sendo uma decisão unilateral. Assim, pensam que são somente eles que escolhem seus orientadores. Contudo, acredito que o orientador também nos escolhe, dedicando a nós não somente seu tempo e seus esforços, mas depositando também em nós sua fé e suas expectativas. Professor Dr. Gerardo Valdisio Rodrigues Viana, sou eternamente grata por ter me escolhido! Essa conquista não seria possível sem seu incentivo, sua atenção e dedicação.

Ao professor Dr. Antônio Clécio Fontelles Thomaz, que me acompanha desde os tempos da graduação. Meu eterno orientador, incentivador, mestre. Por muitas vezes ultrapassou a barreira de professor, assumindo o papel de pai. Cuidou, preocupou-se, incentivou-me, caminhou junto comigo, chamou-me a atenção quando necessário porém sem nunca deixar de acreditar em mim. Essa conquista também não teria sido possível sem o senhor para me nortear. Muito obrigada, professor!

À minha filha Mariana pela companhia nas noites intermináveis de escrita, por compreender quando não foi possível ajudá-la com as tarefas e trabalhos da escola e por abrir mão, sem reclamar, da diversão em muitos finais de semana durante este curso.

Ao Marcelo Moura que, de colega de mestrado, passou a ocupar um posto que eu considerava há muito perdido: o de amor da minha vida. Obrigada pela companhia durante esses anos (dentro e fora de sala), pelos domingos de estudo, pelos almoços corridos quando tínhamos que assistir aula à tarde, por todo o apoio e incentivo durante o curso inteiro e durante realização deste trabalho. Essa vitória não teria o mesmo sabor sem você ao lado.

À Dra. Silvia Bomfim por compreender as minhas ausências na Escola de Saúde Pública do Ceará e, posteriormente, na Secretaria da Saúde do Estado do Ceará. Obrigada por todo apoio e incentivo, por acreditar e confiar no meu trabalho.

Ao colega de trabalho e de profissão Jackson Valvenark por descortinar e desmistificar para mim as gigantescas bases de dados do SUS. Graças ao seu apoio adquiri independência na prospecção dos dados apresentados neste trabalho. Muito obrigada!

Aos meus familiares e amigos que, de alguma forma, participaram desta jornada. Obrigada pela companhia durante a caminhada!

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos”.

(Isaac Newton)

RESUMO

O presente trabalho propõe a análise de eficiência de 19 Policlínicas do Estado do Ceará utilizando-se a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) associada ao método de Savage, o qual permite uma ponderação entre a fronteira DEA clássica (otimista) e a fronteira invertida (pessimista). Através desta associação e tomando por base os dados de funcionamento das Policlínicas entre os anos de 2013 a 2016, realiza-se uma análise de sensibilidade da eficiência dessas unidades. Propõe-se ainda o desenvolvimento de uma ferramenta *web* que processa todas as informações referentes às DMUs, exibindo-as em formato de gráfico interativo, de modo sucinto e intuitivo. Conclui-se que é possível avaliar a eficiência relativa das DMUs (*Decision Making Units*) em unidades dessa natureza, demonstrando assim como é factível o emprego da metodologia DEA para proporcionar subsídios no processo decisório, abrindo campo para outras pesquisas dentro da área da saúde.

Palavras-chave: Data Envelopment Analysis. Policlínicas. Savage. Análise de eficiência. Apoio à decisão.

ABSTRACT

This paper proposes an efficiency analysis of the 19 polyclinics of Ceará using Data Envelopment Analysis (DEA) associated with Savage method, which allows a balance between classical DEA frontier (optimistic) and the inverted frontier (pessimistic) . Through this association and based on the operational data of Polyclinics between the years of 2013 and 2016, a sensitivity analysis of the efficiency of these units is made. It is also proposed the development of a web tool that processes all information relating to DMUs, displaying them in interactive graphic format, succinctly and intuitively . It follows that it is possible to evaluate the relative efficiency of DMUs (Decision Making Units) of this nature, demonstrating that the use of DEA provides subsidies in the decision-making process, opening the field for further research into the health care.

Keywords: DEA. Polyclinics. Savage. Efficiency Analysis. Decision support.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – <i>Benchmarking</i> métrico	14
Figura 2 – Fronteira CCR orientada a <i>inputs</i>	21
Figura 3 – Fronteira CCR orientada a <i>outputs</i>	23
Figura 4 – Projeções das orientações na fronteira VRS	26
Figura 5 – Fronteiras DEA BCC clássica e invertida	29
Figura 6 – Página de upload do sistema (modo administrador)	45
Figura 7 – Modelo do arquivo .csv	45
Figura 8 – Página inicial do sistema	46
Figura 9 – Menu lateral da tela principal	47
Figura 10 – Página inicial para dispositivos com tela grande	47
Figura 11 – Menu da página inicial para dispositivos com tela grande	48
Figura 12 – Página de Ranking	48
Figura 13 – Página de Resultados	49
Figura 14 – Página de evolução da eficiência da Policlínica	49
Figura 15 – Evolução das eficiências das Policlínicas	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 0 – Matriz de decisão em situação de incerteza	30
Tabela 1 – Matriz de lucros ponderados	31
Tabela 2 – Policlínicas do Estado do Ceará	40
Tabela 3 – Dados referentes ao ano de 2013	41
Tabela 4 – Dados referentes ao ano de 2014	42
Tabela 5 – Dados referentes ao ano de 2015	42
Tabela 6 – Dados referentes ao ano de 2016	43
Tabela 7 – Eficiência das Policlínicas do Estado do Ceará no ano de 2013	50
Tabela 8 – Eficiência das Policlínicas do Estado do Ceará no ano de 2014	51
Tabela 9 – Eficiência das Policlínicas do Estado do Ceará no ano de 2015	51
Tabela 10 – Eficiência das Policlínicas do Estado do Ceará no ano de 2016	52
Tabela 11 – Eficiências das Policlínicas do Estado do Ceará para diversos valores de α .	54

SUMÁRIO

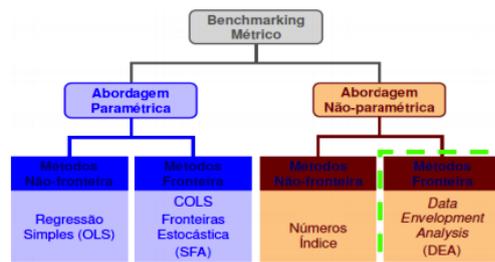
1	INTRODUÇÃO	14
1.1	MOTIVAÇÃO	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	17
2.1.1	Modelo CCR	18
2.1.1.1	Modelo CCR orientado a <i>inputs</i> (CCR-I)	18
2.1.1.2	Modelo CCR orientado a <i>outputs</i> (CCR-O)	21
2.1.2	Modelo BCC	23
2.1.3	Modelo SBM	26
2.2	CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS DEA	27
2.3	FRONTEIRA INVERTIDA	28
2.4	O CRITÉRIO MINIMAX (CRITÉRIO DE SAVAGE)	29
3	TRABALHOS RELACIONADOS	32
3.1	NÍVEIS DE EFICIÊNCIA NOS SERVIÇOS DE SAÚDE PÚBLICA NA REGIÃO NORTE	32
3.2	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA AVALIAÇÃO DE HOSPITAIS PÚBLICOS NAS CAPITAIS BRASILEIRAS	32
3.3	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE SAÚDE POR MEIO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	33
3.4	O SUS NO CEARÁ: AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA TÉCNICA NOS MUNICÍPIOS	35
3.5	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS PARA COMPOSIÇÃO DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA DE UNIDADES DE SAÚDE: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE POLICLÍNICAS NO ESTADO DO CEARÁ	36
4	METODOLOGIA	38
4.1	UTILIZAÇÃO DA FRONTEIRA INVERTIDA COM PONDERAÇÃO DE RESULTADOS	38

4.1.1	Estudo de caso: as Policlínicas do Estado do Ceará	39
5	DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL . . .	44
5.1	INTERFACE COM O USUÁRIO	44
6	RESULTADOS	50
6.1	APLICAÇÃO DA PONDERAÇÃO DE RESULTADOS	53
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
7.1	TRABALHOS PUBLICADOS	55
7.2	TRABALHOS FUTUROS	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Grandes esforços têm sido dedicados ao estudo das formas de mensurar e fazer análises da eficiência de empresas privadas e de instituições públicas. Marques (2005) apresenta graficamente um resumo das abordagens de um *benchmarking* métrico, destacando os tipos de análises, conforme a Figura 1.

Figura 1 – *Benchmarking* métrico



Fonte: Marques(2005) - adaptado

Os chamados métodos paramétricos supõem uma relação funcional pré-definida entre os recursos e o que foi produzido. Normalmente, usam médias para determinar o que poderia ter sido produzido. Já os métodos não-paramétricos, dentre os quais encontra-se a Análise Envoltória de Dados, não fazem nenhuma suposição funcional e consideram que o máximo que poderia ter sido produzido é obtido através da observação das unidades mais produtivas, utilizando para isto um *benchmarking* composto por unidades semelhantes no que diz respeito aos seus insumos (*inputs*) e produtos (*outputs*).

Desde 1950, técnicas não-paramétricas vêm sendo utilizadas para avaliar se um plano de operação é eficiente. Koopmans (1951) apresentaram uma compilação de trabalhos nas áreas da economia, matemática, estatística e administração onde são discutidas teoria e prática da utilização eficiente de recursos. Debreu (1951) propôs um coeficiente de utilização de recursos que gera uma medida de eficiência econômica. Farrell (1957) propôs uma forma de construir índices de eficiência nos quais uma média ponderada de *inputs* é comparada com um *output*.

Entretanto, foi a partir da década de 70 que houve grande progresso na aplicação dessas técnicas, visto que, sob o prisma gerencial, seus resultados revelaram-se mais expressivos que aqueles obtidos através da abordagem paramétrica tradicional. Assim, Charnes et al. (1978) generalizaram os estudos de Farrell tanto no sentido de trabalhar com múltiplos recursos e múltiplos resultados, quanto na obtenção de um indicador que atendesse ao conceito de eficiência.

Essa generalização deu origem a uma técnica de construção de fronteiras de produção e indicadores da eficiência produtiva conhecida como Análise Envoltória de Dados - *Data Envelopment Analysis* (DEA).

1.1 MOTIVAÇÃO

Segundo Cavalcanti (2014), a regionalização da saúde no Brasil se configura como um processo técnico-político que envolve o desenvolvimento de estratégias de rearticulação e reorganização de uma rede de ações e serviços de saúde no território de cada unidade federada do país. A legislação atual pretende consolidar e fazer avançar esse processo de regionalização já existente no país, embora com diferentes graus de institucionalidade e maturação política. Pretende ainda ter o papel de regular a estrutura organizativa do Sistema Único de Saúde (SUS), a assistência à saúde e a articulação interfederativa, dentre outros aspectos, tão necessários à sua consolidação e melhoria permanente da cobertura e qualidade da atenção. Desta forma, visa dar maior operacionalidade e sustentabilidade à estrutura assistencial, definindo juridicamente as responsabilidades dos entes federativos, para que o cidadão possa, de fato, ter acesso às ações e aos serviços ofertados nas regiões e organizados em Redes de Atenção à Saúde (RAS).

Conforme Viana e Lima (2011), o Estado do Ceará é precursor em iniciativas de conformação regional da saúde, com forte presença de planejamento e estruturas regionais sólidas e com considerável autonomia. De acordo com Linhares et al. (2014), dentro da visão de gestão pública por resultados, o Sistema Único de Saúde, através da Secretaria da Saúde do Estado do Ceará (SESA-CE), vem desenvolvendo ações no sentido de melhorar a qualidade dos serviços prestados à população e, ao mesmo tempo, reduzir os gastos financeiros envolvidos nos seus processos de atendimento. Em consonância com o Plano Estadual de Saúde (PES) 2016-2019 (CEARÁ, 2016), esta Secretaria busca assegurar atendimento de ações e serviços de saúde universal, integral e humanizado a todos os cearenses, além de fortalecer a capacidade de planejamento e gestão do Sistema Estadual de Saúde de forma cooperativa e solidária observando o princípio de eficiência e equidade com participação da sociedade.

O Sistema Único de Saúde do Estado do Ceará apresenta-se amadurecido e consolidado na questão da atenção primária à saúde. Um bom indicador dessa condição é a cobertura do PSF que, segundo o Indicadores e Dados Básicos para a Saúde no Ceará (IDB-CE), já era de 84% em 2005 (CEARÁ, 2007). Com isso, a preocupação na adoção de medidas de garantia de acesso da população à assistência à saúde nos níveis de média e alta complexidade torna-se

importante item da agenda dos formuladores e gestores de saúde do Estado do Ceará, até mesmo pela demanda gerada por essa maior efetividade do sistema.

Fundamentado em indicadores epidemiológicos e ainda considerando as lacunas assistenciais e o envelhecimento populacional, o Governo do Estado do Ceará lançou o Programa de Expansão e Melhoria da Assistência Especializada à Saúde do Estado do Ceará (PROEX-MAES). Como definido em CEARÁ (2009), este programa objetiva contribuir para a ampliação do acesso e da qualidade dos serviços especializados de saúde, promovendo a integração entre os distintos níveis de atenção, com a expansão da cobertura da assistência especializada em todas as microrregiões do interior do estado.

Inseridas no contexto da atenção especializada estão as Policlínicas, unidades que oferecem atendimentos nas principais especialidades médicas de interesse epidemiológico e com serviços de suporte ao diagnóstico e reabilitação dos pacientes atendidos. Entretanto, os custos de fornecimento e manutenção desses serviços são altos, cabendo aos gestores a utilização do orçamento destinado aos mesmos de forma otimizada e eficiente. Este trabalho propõe uma avaliação da eficiência destas unidades de atendimento baseada em modelos matemáticos de Análise Envoltória de Dados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a eficiência das 19 Policlínicas atualmente em funcionamento no Estado do Ceará utilizando a metodologia DEA.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar e conceituar a metodologia DEA;
- Validar o método de Análise Envoltória de Dados como ferramenta de avaliação de unidades de saúde;
- Identificar qual o modelo DEA mais adequado para o caso das Policlínicas;
- Definir os *inputs* e *outputs* relevantes para o caso das Policlínicas;
- Desenvolver uma *interface web* otimizada para dispositivos móveis para geração e análise dos resultados, auxiliando gestores no processo de tomada de decisão;
- Apresentar resultados computacionais através da simulação de diversos cenários

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para uma melhor compreensão da metodologia utilizada neste trabalho é necessário, inicialmente, conceituar eficácia, produtividade e eficiência.

A eficácia está ligada apenas ao que é produzido, sem levar as conta os recursos usados para a produção. Pode-se então dizer que eficácia é a capacidade de uma unidade produtiva atingir a produção que tinha como meta. Essa meta pode tanto ter sido estabelecida pela própria unidade como externamente.

A produtividade é consequência da razão entre o que foi produzido e o que foi gasto para produzir. Se várias empresas desenvolvem atividades semelhantes, pode-se comparar as suas produtividades e investigar por que razão umas são mais produtivas que outras. De forma genérica, uma empresa é mais produtiva que outra porque tomou decisões que lhe permitem aproveitar melhor os recursos. Essas decisões podem ser o uso de uma tecnologia mais avançada, a contratação de mão-de-obra mais qualificada, uso de melhores técnicas gerenciais entre outras. O importante é que a maior produtividade é, via de regra, decorrente de alguma decisão tomada. Portanto, do ponto de vista desta análise, as unidades produtoras tomaram decisões e, por isso, serão doravante denominadas "Unidades Tomadoras de Decisões". Em inglês, uma unidade que toma decisões é *Decision Making Unit*, o que resulta na sigla DMU. Em geral, nesta metodologia as unidades produtivas passam a ser chamadas de DMUs, mesmo nos casos em que não tomam decisão alguma.

Eficiência compara o que foi produzido, dados os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos, sendo portanto, uma medida comparativa ou relativa entre as unidades.

2.1 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Análise Envoltória de Dados - *Data Envelopment Analysis* (DEA) é uma técnica não-paramétrica que emprega programação matemática para construir fronteiras de eficiência por "unidades tomadoras de decisões". *Decision Making Units* - Unidades Tomadora de Decisão (DMUs) empregam processos tecnológicos semelhantes para transformar múltiplos insumos em múltiplos produtos. Tais fronteiras são utilizadas para avaliar a eficiência relativa dos planos de operação executados pelas DMUs e servem também como referência para o estabelecimento de metas eficientes para cada unidade produtiva.

Um aspecto importante e, provavelmente, um dos mais relevantes desta técnica é que ela contempla diversos tipos de indicadores além dos financeiros, permitindo que a análise de eficiência seja realizada de forma multicriterial, expressando assim as performances das DMUs sob a perspectiva de todos os seus indicadores críticos de desempenho.

Embora a Análise Envoltória de Dados possua várias formas de determinar fronteiras, existem dois modelos que são considerados clássicos: o CCR (acrônimo para Charnes, Cooper e Rhodes) e o BCC (acrônimo para Banker, Charnes e Cooper).

2.1.1 Modelo CCR

O modelo CCR, também conhecido como *Constant Returns to Scale* (CRS), constrói uma superfície linear por partes, envolvendo os dados. Ou seja, trabalha com retornos constantes de escala, onde qualquer variação nas entradas (*inputs*) produz variação proporcional nas saídas (*outputs*) (CHARNES et al., 1978).

2.1.1.1 Modelo CCR orientado a *inputs* (CCR-I)

Este modelo determina a eficiência através da otimização da divisão entre a soma ponderada das saídas (*outputs*) e a soma ponderada das entradas (*inputs*) generalizando, assim, a definição de Farrell (1957). O modelo permite que cada DMU escolha os pesos para cada variável da forma que lhe for mais benevolente, desde que esses mesmos pesos aplicados às outras DMUs não gerem uma razão superior a 1.

Essas condições são formalizadas no modelo 2.1 (SOARES et al., 2005):

$$Max\ Eff_o = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jo}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{io}}$$

Sujeito a: (2.1)

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \leq 1, \forall k$$

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

Onde:

Eff_o é a eficiência da DMU o em análise,

v_i são os pesos dos *inputs* i , $i = 1, \dots, r$,

u_j são os pesos dos *outputs* j , $j = 1, \dots, s$,

x_{ik} são os *inputs* i da DMU k , $k = 1, \dots, n$,

y_{jk} são os *outputs* j da DMU k , $k = 1, \dots, n$,

x_{io} são os *inputs* i da DMU o ,

y_{jo} são os *outputs* j da DMU o .

O problema apresentado é de programação fracionária, que deve ser resolvido para cada uma das DMUs e pode ser transformado em um Problema de Programação Linear (PPL) Para tal, obriga-se que o denominador da função objetivo deva ser igual a uma constante, normalmente igual à unidade. A formulação do modelo CCR é, então, apresentada em 2.2 (SOARES et al., 2005). Nesse modelo, as variáveis de decisão são os pesos v_i e u_j .

$$\text{Max } Eff_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1 \quad (2.2)$$

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

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

Onde:

Eff_o é a eficiência da DMU o em análise,

v_i são os pesos dos *inputs* i , $i = 1, \dots, r$,

u_j são os pesos dos *outputs* j , $j = 1, \dots, s$,

x_{ik} são os *inputs* i da DMU k , $k = 1, \dots, n$,

y_{jk} são os *outputs* j da DMU k , $k = 1, \dots, n$,

x_{io} são os *inputs* i da DMU o ,

y_{jo} são os *outputs* j da DMU o .

A estrutura matemática desses modelos permite que uma DMU seja considerada eficiente com vários conjuntos de pesos. Em particular, podem ser atribuídos pesos zero a algum

input ou *output*, o que significa que esta variável não foi considerada na avaliação.

Esse tipo de PPL é chamado de Modelos dos Multiplicadores com orientação a *inputs*. A denominação de orientação a insumos/recursos vem do fato da eficiência ser atingida com a redução desses insumos/recursos, o que é melhor visualizado no dual deste modelo, apresentado em 2.3 e conhecido como Modelo Envoltório. Por serem duais, os modelos 2.2 e 2.3 têm o mesmo valor para função objetivo (SOARES et al., 2005).

$$\text{Min } h_o$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} h_o x_{jo} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0, \forall i \\ -y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k &\geq 0, \forall j \\ \lambda_k &\geq 0, \forall k \end{aligned} \quad (2.3)$$

Onde:

h_o é a eficiência da DMU o em análise,

x_{ik} são os *inputs* i da DMU k , $k = 1, \dots, n$,

y_{jk} são os *outputs* j da DMU k , $k = 1, \dots, n$,

x_{io} são os *inputs* i da DMU o ,

y_{jo} são os *outputs* j da DMU o ,

λ_k é o grau de influência da DMU k enquanto benchmark da DMU o em análise, $k = 1, \dots, n$.

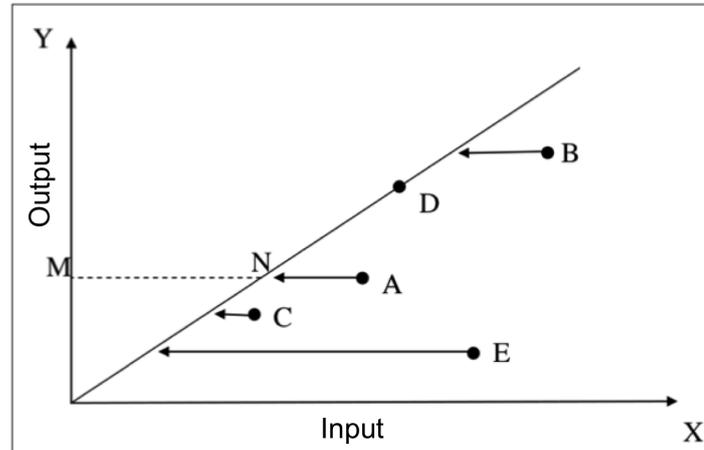
A função objetivo representa a eficiência, que é o valor que deve ser multiplicado por todos os *inputs* de forma a obter valores que coloquem a DMU na fronteira eficiente (ou seja, provoca decréscimo no valor dos *inputs*). O primeiro conjunto de restrições garante que essa redução em cada um dos *inputs* não ultrapasse a fronteira definida pelas DMUs eficientes. O segundo conjunto de restrições garante que a redução dos *inputs* não altere o nível atual dos *outputs* da DMU.

Enquanto no Modelo dos Multiplicadores as variáveis de decisão são os pesos, no Modelo Envoltório as variáveis são h_o e λ_k 's.

Na Figura 2 é possível observar um exemplo de fronteira eficiente para o modelo CCR orientado a *input* (CCR-I) contendo um *input* e um *output*. A DMU D é eficiente neste

contexto. Podem-se ver as projeções das DMUs ineficientes na fronteira.

Figura 2 – Fronteira CCR orientada a *inputs*



Fonte: Bezerra (2010)

2.1.1.2 Modelo CCR orientado a *outputs* (CCR-O)

É possível desenvolver-se um modelo orientado a *outputs*, ou seja, que maximiza as saídas mantendo inalteradas as entradas. Neste modelo, apresentado em 2.4, as variáveis de decisão são as mesmas do modelo orientado a *inputs* (SOARES et al., 2005). Entretanto, h_o representa o valor pelo qual todos os produtos devem ser multiplicados, mantendo-se constantes os recursos, para a DMU atingir a fronteira eficiente. Vê-se que h_o é, então, um número maior que 1 (provoca incremento no valor dos *outputs*), e a eficiência é $\frac{1}{h_o}$. No caso do modelo CCR, as duas orientações fornecem o mesmo valor de eficiência, no entanto com λ 's diferentes.

$$\text{Max } h_o$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} x_{io} - \sum_{k=1}^n x_{ik}\lambda_k &\geq 0, \forall i \\ -h_o y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk}\lambda_k &\geq 0, \forall j \\ \lambda_k &\geq 0, \forall k \end{aligned} \quad (2.4)$$

Onde:

h_o é a eficiência da DMU o em análise,

x_{ik} são os *inputs* i da DMU k , $k = 1, \dots, n$,

y_{jk} são os *outputs* j da DMU k , $k = 1, \dots, n$,

x_{io} são os *inputs* i da DMU o ,

y_{jo} são os *outputs* j da DMU o ,

λ_k é o grau de influência da DMU k enquanto benchmark da DMU o em análise, $k = 1, \dots, n$.

O modelo mostrado em 2.5 apresenta o modelo DEA CCR orientado a *outputs* na forma fracionária. Em 2.6 é apresentado o modelo linearizado. Em ambos, $h_o = \frac{1}{Eff_o}$ (SOARES et al., 2005).

$$Min h_o = \frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{io}}{\sum_{j=1}^s u_j y_{jo}}$$

Sujeito a: (2.5)

$$\frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}}{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}} \geq 1, \forall k$$

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

$$Min h_o = \sum_{i=1}^r v_i x_{io}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jo} = 1 \quad (2.6)$$

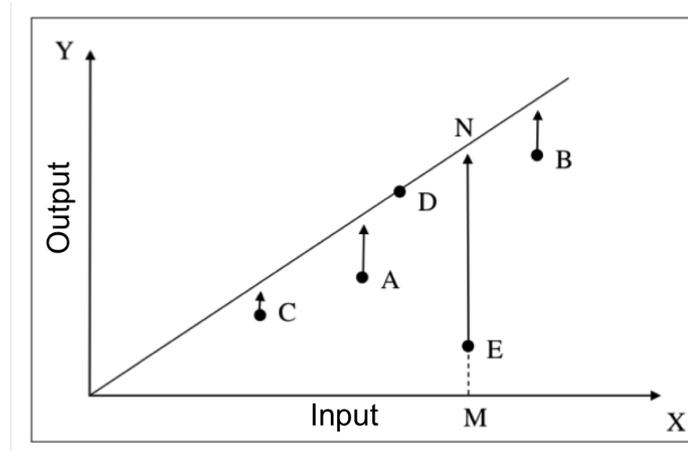
$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k$$

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

Na Figura 3 é possível observar um exemplo de fronteira eficiente para o modelo

CCR orientado a *output* (CCR-O) contendo um *input* e um *output*. As setas indicam a direção do aumento proporcional do *output*.

Figura 3 – Fronteira CCR orientada a *outputs*



Fonte: Bezerra (2010)

2.1.2 Modelo BCC

O modelo BCC, devido a Banker et al. (1984), considera retornos variáveis de escala, isto é, substitui o axioma da proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* pelo axioma da convexidade. Por isso, esse modelo também é conhecido como *Variable Returns to Scale* (VRS). Ao obrigar que a fronteira seja convexa, o modelo BCC permite que DMUs que operam com baixos valores de inputs tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes de escala. Matematicamente, a convexidade da fronteira equivale a uma restrição adicional ao Modelo Envoltório, que passa a ser o indicado em 2.7 para orientação

a *inputs*, e 2.8 para orientação a *outputs* (SOARES et al., 2005).

Min h_o

Sujeito a:

$$\begin{aligned}
 h_o x_{io} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0, \forall i \\
 -y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k &\geq 0, \forall j \\
 \sum_{k=1}^n \lambda_k &= 1 \\
 \lambda_k &\geq 0, \forall k
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

Max h_o

Sujeito a:

$$\begin{aligned}
 x_{io} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0, \forall i \\
 -h_o y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k &\geq 0, \forall j \\
 \sum_{k=1}^n \lambda_k &= 1 \\
 \lambda_k &\geq 0, \forall k
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

Onde, para 2.7 e 2.8:

h_o é a eficiência da DMU o em análise,

x_{ik} são os *inputs* i da DMU k , $k = 1, \dots, n$,

y_{jk} são os *outputs* j da DMU k , $k = 1, \dots, n$,

x_{io} são os *inputs* i da DMU o ,

y_{jo} são os *outputs* j da DMU o ,

λ_k é o grau de influência da DMU k enquanto benchmark da DMU o em análise, $k =$

$1, \dots, n$.

Os duais dos PPLs 2.7 e 2.8 geram os modelos BCC dos Multiplicadores orientados a *inputs* e a *outputs*, apresentados em 2.9 e 2.10, respectivamente (SOARES et al., 2005). Nestes

modelos, u_* e v_* são as variáveis duais associadas à condição $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$ e são interpretados como fatores de escala.

$$Max\ Eff_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} + u_*$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^r v_i x_{io} &= 1 \\ - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} + u_* &\leq 0, \forall k \\ v_i, u_j &\geq 0, u_* \in R \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$Min\ Eff_o = \sum_{i=1}^r v_i x_{io} + v_*$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} &= 1 \\ - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - v_* &\leq 0, \forall k \\ v_i, u_j &\geq 0, v_* \in R \end{aligned} \quad (2.10)$$

Onde, para 2.9 e 2.10:

Eff_o é a eficiência da DMU o em análise,

v_i são os pesos dos *inputs* i , $i = 1, \dots, r$,

u_j são os pesos dos *outputs* j , $j = 1, \dots, s$,

x_{ik} são os *inputs* i da DMU k , $k = 1, \dots, n$,

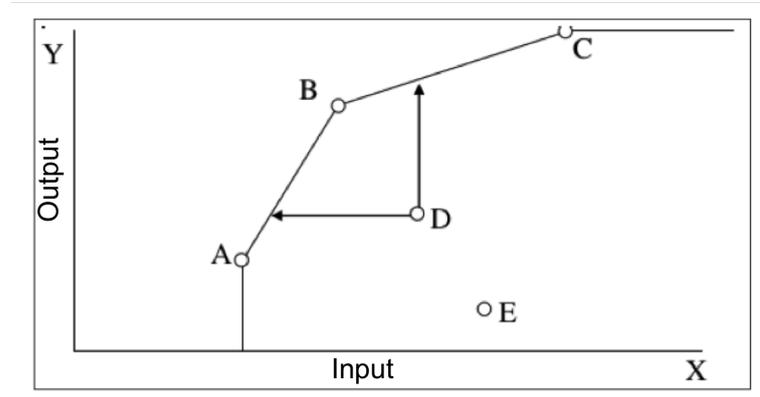
y_{jk} são os *outputs* j da DMU k , $k = 1, \dots, n$,

x_{io} são os *inputs* i da DMU o ,

y_{jo} são os *outputs* j da DMU o .

A Figura 4 demonstra a fronteira de eficiência para um modelo com um *input* e um *output*. A DMU ineficiente D pode tornar-se eficiente seguindo na direção de uma das setas, a depender da orientação escolhida.

Figura 4 – Projeções das orientações na fronteira VRS



Fonte: Bezerra (2010)

2.1.3 Modelo SBM

O modelo *Slacks-Based Measure* (SBM), proposto por Tone (2001), incorpora folgas intrínsecas a cada DMU, sendo indicado para avaliar DMUs que tenham diferenças de tamanho entre si. O PPL mostrado em 2.11 apresenta este modelo.

$$\min_{\lambda, s^-, s^+} \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{ro}}} \quad (2.11)$$

Sujeito a:

$$x_o = X\lambda + s^-$$

$$y_o = Y\lambda - s^+$$

$$\lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0$$

Onde:

ρ é a eficiência das DMUs,

λ são os pesos dos *inputs* e *outputs*,

s^- são as folgas nos *inputs*,

s^+ são as folgas nos *outputs*.

Quando $\rho = 1$, as DMUs são consideradas eficientes ou ineficientes e com folgas. Assim, unidades ineficientes têm $\rho < 1$ se estiverem abaixo da fronteira ou podem estar sobre a

fronteira (com $\rho = 1$) e apresentarem folga (TONE, 2001).

Nessa metodologia, admitem-se duas propriedades: (a) a mensuração é invariável (constante) em relação à unidade de análise de cada input e output, ou seja, o numerador e denominador da equação 2.11 são medidos na mesma unidade; e (b) em cada folga de *input* e *output* a mensuração é classificada como monotônica e decrescente, isto é, o valor da função objetivo reduz após aumentos em s_i^- e s_r^+ , mantendo constantes os demais termos (COOPER, 2007).

O modelo SBM pode assumir orientações a *input*, *output* e também nenhuma orientação. Utiliza-se neste trabalho o modelo SBM orientado a *output*, que pode ser expresso pela equação 2.12.

$$\rho_0^* = \min_{\lambda, s^+} = \frac{1}{1 + \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{s_r^+}{y_{ro}}} \quad (2.12)$$

Sujeito a:

$$y_o = Y\lambda - s^+$$

$$\lambda \geq 0, s^+ \geq 0$$

Onde:

ρ é a eficiência das DMUs,

λ são os pesos dos *inputs* e *outputs*,

s^+ são as folgas nos *outputs*.

2.2 CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS DEA

De modo primário, DEA possui o objetivo de comparar um certo número de DMUs que realizam tarefas similares e se diferenciam unicamente nas quantidades dos recursos consumidos e das saídas produzidas. Além deste, é possível destacar outros objetivos, a seguir:

- Identificar as DMUs eficientes, medir e localizar a ineficiência e estimar uma função de produção linear por partes, que fornece o *benchmark* (referência) para as DMUs ineficientes. Ao identificar a origem e a ineficiência relativa de cada uma das DMUs, é possível analisar qualquer de suas dimensões relativas a entradas e/ou saídas. A fronteira de eficiência compreende o conjunto de DMUs eficientes;

- Determinar a eficiência relativa das DMUs, contemplando cada uma relativamente a todas as outras que compõem o grupo a ser estudado. Assim, DEA pode ser utilizado na problemática da ordenação como ferramenta multicritério de apoio à decisão (BARBAROMERO; POMEROL, 1997), já que estabelece uma relação de pré-ordem entre as DMUs;
- Subsidiar estratégias de produção que maximizam a eficiência das DMUs avaliadas, corrigindo as ineficientes através da determinação de alvos.

Os modelos DEA têm algumas propriedades em comum e outras individuais. Algumas destas características são:

- Em qualquer modelo DEA, cada DMU escolhe seu próprio conjunto de pesos, de modo que apareça o melhor possível em relação às demais. Dessa forma, cada DMU pode ter um conjunto de pesos (multiplicadores) diferente;
- Todos os modelos são invariantes com a escala de medida, ou seja, pode-se usar como variável a área plantada de uma determinada cultura em km^2 , m^2 ou hectares não afeta o resultado;
- Em qualquer modelo DEA, a DMU que apresentar a melhor relação *output/input* será sempre eficiente;
- O modelo CCR tem como propriedade principal a proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* na fronteira, ou seja, o aumento (decremento) na quantidade dos *inputs* provocará o acréscimo (redução) proporcional no valor do *outputs*;
- No modelo BCC, a DMU que tiver menor valor de um determinado *input* ou o maior valor de um certo *output* será eficiente. Esta DMU é chamada eficiente por *default*.

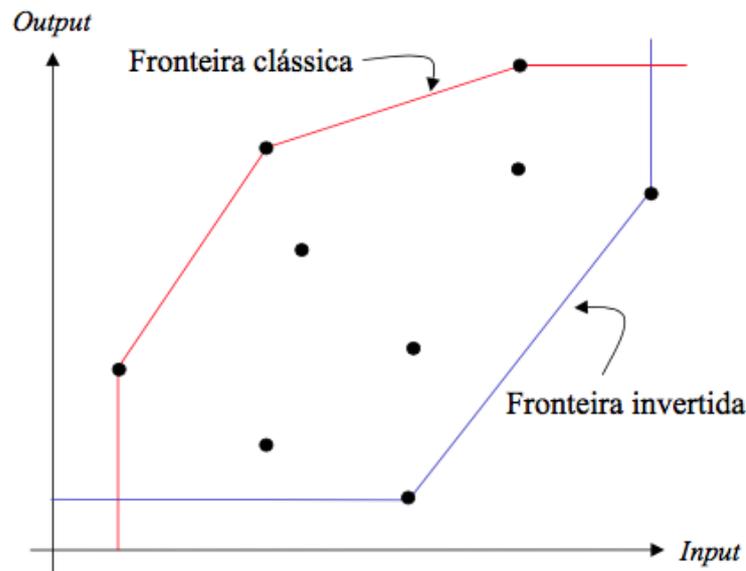
2.3 FRONTEIRA INVERTIDA

Conforme exposto até o momento, os modelos DEA possuem a vantagem de permitir que DMUs sejam ordenadas sem depender de opiniões de decisores ou gestores. Entretanto, esses modelos podem ser extremamente benevolentes com as unidades avaliadas. Estas podem ser eficientes ao considerar apenas algumas das variáveis, aquelas que lhes são mais favoráveis. Essa característica dos modelos DEA faz com que ocorram empates para as unidades 100% eficientes, provocando uma baixa discriminação entre as DMUs.

A fronteira invertida pode ser considerada como uma avaliação pessimista das unidades e permite uma observação mais sofisticada do problema pois as DMUs são avaliadas

naquilo em que são ineficientes. Seu conceito foi introduzido por Yamada et al. (1994) e Entani et al. (2002). A análise de fronteira invertida é obtida através da inversão entre os *inputs* e *outputs* do modelo original. Assim, a fronteira, que pode ser chamada de ineficiente, é composta pelas DMUs com as piores práticas gerenciais. A Figura 5 mostra as duas fronteiras, a clássica e a invertida, para o modelo DEA BCC.

Figura 5 – Fronteiras DEA BCC clássica e invertida



Fonte: Soares et al. (2005)

Para contornar o problema da baixa discriminação, Leta et al. (2005) empregam um método baseado na média aritmética da eficiência segundo as óticas otimista e pessimista, apresentado em 2.13. Cada uma dessas óticas constrói uma fronteira DEA, mutuamente invertidas.

$$Eficiência_{final} = \frac{Eficiência_{otimista} - Eficiência_{pessimista} + 100}{2} \quad (2.13)$$

2.4 O CRITÉRIO MINIMAX (CRITÉRIO DE SAVAGE)

Na Teoria da Decisão, uma matriz de decisão é uma forma compacta de organizar informações necessárias no caso de tomada de decisão com riscos e incertezas. A Tabela 0 mostra um exemplo de uma matriz de decisão onde os valores são os lucros correspondentes às várias combinações de alternativas e acontecimentos.

Tabela 0 – Matriz de decisão em situação de incerteza

	Acontecimento 1	Acontecimento 2	Acontecimento 3
Alternativa 1	12	1	6
Alternativa 2	8	0	14
Alternativa 3	16	4	0

Fonte: Próprio autor

No caso da tomada de decisão em situações de incerteza, as probabilidades dos acontecimentos não são conhecidas. Assim, alguns critérios de decisão precisam ser aplicados. O critério do otimismo parte do pressuposto de que as coisas irão correr da melhor forma possível e, assim, faz sentido escolher a alternativa que fornece o maior lucro. No caso da matriz de decisão, este é chamado de critério Maximax pois maximiza o retorno máximo. Considerando-se a Tabela 0, os retornos máximos para as alternativas 1, 2 e 3 são, respectivamente, 12, 14 e 16. O máximo dos máximos é 16, correspondendo à alternativa 3.

O critério do pessimismo parte do pressuposto que, qualquer que seja a alternativa escolhida, o pior acontecimento possível ocorrerá. Desse modo, o mais razoável é escolher-se a alternativa que possui a melhor consequência se o pior acontecer. Isto é denominado de critério Maximin, pois escolhe-se a alternativa com o máximo dos mínimos retornos. Na Tabela 0, os mínimos retornos para as alternativas 1, 2 e 3 são, respectivamente, 1, 0 e 0. O máximo dos mínimos é 1, correspondendo à alternativa 1.

Savage (1951) estabeleceu um critério que combina os dois anteriores, o qual ficou conhecido como Minimax. Este critério lança mão de um coeficiente α que multiplica a melhor consequência para cada alternativa e de $(1-\alpha)$ que multiplica a pior consequência. Então, faz-se α variar de 1 (se o indivíduo for completamente otimista) a 0 (se o indivíduo for completamente pessimista). Assim, tomando-se por base ainda a Tabela 0, para cada alternativa é possível calcular o lucro ponderado, bastando para tanto escolher um fator de otimismo (α) e aplicá-lo à equação 2.14:

$$Lucro_{ponderado} = \alpha \times (Lucro_{max}) + (1 - \alpha) \times Lucro_{min} \quad (2.14)$$

A Tabela 1 mostra os lucros ponderados das alternativas apresentadas na Tabela 0 para valores de $\alpha = 0$ (visão totalmente pessimista), $\alpha = 0,3$, $\alpha = 0,5$, $\alpha = 0,8$ e $\alpha = 1$ (visão totalmente otimista).

Assim, se o decisor for totalmente pessimista ($\alpha = 0$), pelos resultados da Tabela 1

Tabela 1 – Matriz de lucros ponderados

	$\alpha = 0$	$\alpha = 0,3$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,8$	$\alpha = 1$
Alternativa 1	1	4,3	6,5	9,8	12
Alternativa 2	0	4,2	7	11,2	14
Alternativa 3	0	4,8	8	12,8	16

Fonte: Próprio autor

ele deverá optar pela Alternativa 1. Para os demais níveis de otimismo, a alternativa que traz melhor retorno é sempre a Alternativa 3.

Um exemplo da utilização do critério de Savage em modelos DEA é a Eficiência Composta calculada pelo software SIAD (MEZA et al., 2004), onde o valor do coeficiente de ponderação α é de 0,5, levando os métodos otimista e possimista a possuírem o mesmo peso no cálculo da eficiência composta.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

3.1 NÍVEIS DE EFICIÊNCIA NOS SERVIÇOS DE SAÚDE PÚBLICA NA REGIÃO NORTE

O trabalho de Silva e Vidal (2008) tem como objetivo geral identificar os níveis de eficiência nos serviços de saúde pública da região Norte do Brasil. Para desenvolvê-lo, os autores utilizaram como base princípios da Economia da Produção, mais precisamente o conceito de função de produção, que visualiza a relação técnica entre a produção máxima obtida em certa unidade de tempo e os fatores usados no processo de produção.

O nível de eficiência técnica de uma unidade de produção, no caso hospitais, foi caracterizado pela relação entre produção observada (que pode ser a quantidade de internações) e produção potencial (que seriam o total de internações possíveis). A medição da eficiência baseou-se nos desvios da produção observada em relação à fronteira da produção. As DMUs selecionadas foram as 64 microrregiões da Região Norte. Consideraram-se como fatores de *input* o número de hospitais, o número de leitos hospitalares por unidade e o gasto total das internações. Como *outputs* foram utilizados o total de internações e o complemento da taxa de mortalidade (1 - taxa de mortalidade). O modelo DEA utilizado no trabalho foi o BCC orientado a *outputs*.

Como resultado, apresentou-se que a eficiência média das DMUs é de 84,36%, destacando-se os Estados do Amapá e do Pará com os maiores níveis de eficiência (92,82% e 90,74% respectivamente). Destaca-se ainda o Estado de Roraima como possuindo o pior índice de eficiência, 68,30%.

Os autores concluem que os resultados da pesquisa são considerados de suma importância para os tomadores de decisões, na medida em que sejam formuladas políticas adequadas para as necessidades da gestão dos serviços de saúde, por intermédio das quais seja fornecido à população da Região Norte acesso a serviços mais eficientes de saúde, contribuindo de maneira significativa para que se caminhe na busca de condições mais justas de atendimento.

3.2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA AVALIAÇÃO DE HOSPITAIS PÚBLICOS NAS CAPITAIS BRASILEIRAS

Este trabalho, cuja autoria é de GONÇALVES et al. (2007), apresenta como objetivo aplicar a metodologia DEA na avaliação do desempenho de hospitais públicos em termos das internações em suas clínicas médicas.

A eficiência dos hospitais foi medida a partir do desempenho das unidades de decisão nas variáveis estudadas para cada hospital, no ano 2000. Foram analisados os seguintes dados referentes às internações em clínica médica dos hospitais do SUS das capitais estaduais do Brasil e do Distrito Federal: taxa de mortalidade, tempo médio de internação (em dias), custo médio da internação (em reais) e perfil de doenças.

A técnica de análise de correlação canônica foi introduzida na restrição do intervalo de variação das variáveis. Esta análise, desenvolvida por Hotelling (1936), estuda as relações lineares entre dois grupos de variáveis (a e b) e sua preocupação fundamental é encontrar o par de combinações lineares de a e b que possua correlação linear máxima. O modelo BCC foi utilizado para gerar escores que permitem avaliar a eficiência das unidades. A partir dos escores obtidos, os municípios foram classificados de acordo com seu desempenho relativo nas variáveis analisadas. Procurou-se a correlação entre os escores de classificação com variáveis exógenas como despesas com programas de saúde básica por habitante e índice de desenvolvimento humano das capitais.

Nos hospitais estudados, destacaram-se as doenças do aparelho circulatório (23,6% das internações); e a taxa de mortalidade foi de 10,3% das internações. Das 27 capitais, quatro alcançaram 100% de eficiência (Palmas, Macapá, Teresina e Goiânia), sete ficaram entre 85% e 100%, dez entre 70% e 85% e dez com menos de 70%. Concluiu-se que a ferramenta utilizada mostrou-se ser aplicável para a avaliação de desempenho de hospitais públicos, revelando grande variabilidade entre as capitais brasileiras no que se refere às internações em clínica médica.

3.3 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE SAÚDE POR MEIO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Através de uma revisão bibliográfica, Lobo e Lins (2011) buscam preencher a lacuna existente nos estudos de eficiência da pesquisa avaliativa em saúde por meio de dois objetivos principais: introduzir a metodologia DEA e apresentar o estado da arte do conhecimento adquirido a partir das publicações que utilizam DEA para avaliar a eficiência dos serviços de saúde.

Para a compreensão do estado de arte das publicações de DEA na avaliação de desempenho de serviços de saúde, foi empreendida uma consulta ao PubMed / MEDLINE (NCBI, 2016), principal banco de periódicos usado pelos autores da saúde, com a palavra-chave: "*data envelopment analysis*", até 31 de dezembro de 2009. Dos 279 artigos encontrados, foram excluídos da análise, a partir da avaliação dos resumos, os artigos de natureza mais teórica e

de revisão (11) e outros 79 cujas DMUs não eram serviços de saúde, pois trataram de estudos relacionados principalmente aos setores e/ou disciplinas de bioquímica, virologia, agropecuária e produção leiteira, programas sociais, pesquisa e desenvolvimento, segurança e ambiente. Para os artigos restantes, foram lidos preferencialmente os artigos completos e classificados segundo número de identificação, nome do artigo, autores, ano de publicação, país e continente dos serviços de saúde estudados, DMUs, modelo e orientação, ênfase metodológica, resultados da aplicação, utilidade do conhecimento adquirido.

Desde a primeira publicação em 1983, já foram indexados ao MEDLINE (NCBI, 2016) 189 artigos que usam DEA na avaliação dos serviços de saúde, sendo nitidamente maior a produção científica após o ano de 2000. Na América do Sul foram publicados 5 artigos (todos do Brasil) a partir de 2007.

Nesse conjunto de 189 artigos, os hospitais são as unidades mais estudadas (46%), seguida por unidades de cuidados primários (12%). Entre os modelos usados, predominam aqueles clássicos, CRS e VRS em iguais proporções (O'NEILL et al., 2007). Ainda são raros os que impõem alguma novidade ou variação metodológica, sendo mais frequentes aquelas que fazem uma avaliação em painel ou longitudinal das unidades avaliadas, ou os que estabelecem o score de DEA como uma variável dependente, cuja regressão (*loglinear*, *logit* ou *tobit*) de outras independentes define um grupo de variáveis com associação positiva ou negativa com a eficiência da unidade. Mais raros são os estudos que introduzem restrições aos pesos ou que utilizam unidades supereficientes para estabelecer uma fronteira virtual das melhores práticas.

No tocante ao conhecimento gerado pelos estudos que consideram os hospitais como DMU, destacam-se os que avaliam o impacto de modelos de gestão e de financiamento na eficiência, questões essas universais e de extrema utilidade para os gestores de saúde nas suas diversas esferas.

Alguns postulados já são considerados como consenso entre pesquisadores, profissionais e decisores das políticas de saúde. Entre eles, o de que existe uma pressão crescente para que os serviços de saúde tenham seus desempenhos aferidos e o de que a pesquisa operacional é útil para o desenvolvimento de metodologias que estudem formas equitativas de alocação de recursos e de avaliação de eficiência dos provedores em saúde (SMITH, 1995).

Sabe-se que a pesquisa avaliativa aplica métodos e gera resultados e que, entre esses resultados obtidos e a real implementação de ações a ser exercida pelo gestor de saúde ainda existe uma fase de julgamento e tomada de decisão.

Por fim, os autores concluem que o estudo realizado permitiu demonstrar que DEA tem a capacidade de se tornar uma importante ferramenta para avaliar os serviços e auxiliar a tomada de decisão em saúde. Para tanto, um caminho factível está na aproximação disciplinar entre epidemiologia de serviços de saúde e pesquisa operacional.

3.4 O SUS NO CEARÁ: AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA TÉCNICA NOS MUNICÍPIOS

O trabalho de Holanda et al. (2004) obtém uma resposta para a questão: como os recursos do SUS estão sendo usados no Ceará? Nesta busca, optou-se por uma análise econômica/quantitativa de eficiência técnica do sistema, a qual abrangesse a maior parte dos 184 municípios cearenses.

No estudo realizado pelos autores, as DMUs consideradas são os municípios cearenses e o contexto de estudo refere-se às práticas do SUS durante o ano de 2002. Assim, os *outputs* considerados são número de consultas ambulatoriais por mil habitantes e o número de internações hospitalares por mil habitantes. Já os *inputs* considerados são os profissionais de saúde por mil habitantes, o número de equipamentos em condição de uso por mil habitantes e os leitos hospitalares por mil habitantes. As bases de dados utilizadas foram retiradas do DATASUS (SAÚDE, 2017b) e da Secretaria Estadual da Saúde. Quanto ao modelo, foi utilizado o de retornos variáveis de escala orientado a *inputs*.

Os resultados obtidos geraram um *ranking* de eficiência técnica do atendimento do SUS entre os 163 municípios cearenses avaliados no ano de 2002. Sobre a fronteira de eficiência encontram-se 16 municípios, sendo eles Aracati, Brejo Santo, Camocim, Caucaia, Farias Brito, Fortaleza, Ipaoranga, Itapipoca, Mucambo, Novo Oriente, Pacatuba, São Benedito, São Luís do Curu, Sobral, Varjota e Viçosa do Ceará. Estes municípios são aqueles que estão executando as melhores práticas quantitativas no SUS no Ceará.

A média dos escores de eficiência foi 0,56 com um desvio padrão de 0,23. Os municípios considerados na faixa de eficiência baixa são basicamente aqueles que dispõem de *inputs* mas não estão gerando *outputs* como os de outras faixas. Todavia, é importante frisar que esta é uma questão quantitativa e não qualitativa.

Por outro lado, como os municípios pertencentes à faixa de alta eficiência estão aproveitando melhor seus recursos para gerar resultados, sugere-se que serviços de maior complexidade e custo devem ser concentrados em seus sistemas de saúde. Assim, os recursos financeiros da saúde podem ser melhor aproveitados, concentrando-se os serviços de alto custo

e complexidade em municípios de alta eficiência (particularmente nas sedes de cada uma das três macrorregiões de saúde: Fortaleza, Sobral e Cariri); enquanto nos municípios de menor faixa de eficiência deve ser enfatizada a qualidade do atendimento de ambulatório e serviços preventivos.

Tais resultados são condizentes com a atual política estadual de saúde. A orientação é de que a resolução de problemas de baixa complexidade devem ser resolvidos nos municípios, problemas de média complexidade devem ser concentrados em municípios chaves da microrregião de saúde e problemas de alta complexidade devem ser centralizados em municípios principais das macrorregiões de saúde. Por fins, os autores verificaram que a orientação da política de saúde do Estado é condizente com a distribuição geográfica da eficiência técnica.

3.5 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS PARA COMPOSIÇÃO DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA DE UNIDADES DE SAÚDE: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE POLICLÍNICAS NO ESTADO DO CEARÁ

Neste trabalho, Dores (2015) objetiva avaliar o desempenho de unidades de atenção secundária à Saúde do Estado do Ceará (Policlínicas) quanto aos atendimentos na especialidade de Oftalmologia.

A escolha das DMUs levou em consideração o interesse dos gestores à época, no que diz respeito ao monitoramento, controle e avaliação das unidades de saúde do Estado, em especial aquelas unidades dentro da abrangência do Programa de Expansão e Melhoria da Assistência Especializada à Saúde do Estado do Ceará (PROEXMAES). Outro fator que contribuiu para esta escolha foi o grande número de unidades em pleno funcionamento (19 no total), possibilitando uma avaliação mais ampla e abrangente.

Em função das características de funcionamento das DMUs, foram adotados como fatores de *input*: a população total da região onde a Policlínica está inserida, o repasse financeiro total para o município da Policlínica (no período de janeiro a junho de 2014) e o número de municípios atendidos pela Policlínica. Foi considerado somente um *output*: a quantidade de atendimentos realizados na especialidade Oftalmologia no período de janeiro a junho de 2014.

Todos os fatores foram obtidos de forma temporal, mês a mês, desde o início de atuação de cada unidade. Como há grandes diferenças entre os períodos de funcionamento das 19 Policlínicas, foram selecionadas para o estudo aquelas inauguradas há mais tempo (totalizando 11 unidades) e utilizados os dados mais recentes aos quais se obteve acesso (janeiro a junho de

2014). Além disso, decidiu-se analisar somente a especialidade Oftalmologia por tratar-se da única em pleno funcionamento em todas as Policlínicas elencadas.

Como o maior interesse do estudo reside na análise das eficiências das DMUs em relação à sua produtividade, optou-se pela escolha de um modelo DEA com retorno variável de escala e orientação a *output*.

Os resultados apontaram que existem 4 Policlínicas eficientes (Tauá, Campos Sales, Baturité e Aracati, enquanto que as demais foram consideradas ineficientes (Brejo Santo, Icó, Pacajús, Itapipoca, Camocim, Acaraú e Russas). Apontou-se ainda quais ações poderiam ser tomadas pelos gestores para tornar eficientes as DMUs que se encontram abaixo da fronteira.

A autora conclui que a metodologia DEA pode ser utilizada de forma robusta e satisfatória para avaliar a eficiência de serviços de saúde, auxiliando os gestores no apoio à tomada de decisão, refletido na correta utilização do orçamento destinado ao funcionamento dessas unidades de saúde.

Este trabalho relacionado, desenvolvido pela mesma autora da presente dissertação, foi elaborado a partir de resultados intermediários obtidos durante o processo de produção desta dissertação.

4 METODOLOGIA

Com a realização deste trabalho espera-se comprovar que o uso do DEA como ferramenta de análise de desempenho relativo pode ser aplicado aos órgãos públicos, em especial na área da saúde e pretende-se desenvolver uma ferramenta web, otimizada para dispositivos móveis, que realize a análise de eficiência de DMUs e possibilite aos gestores a visualização dos resultados de forma simples e direta.

O trabalho está dividido em duas etapas. Na primeira, sugere-se a utilização da metodologia DEA tradicional (otimista) combinada com a estratégia de fronteira invertida (pessimista), realizando-se ponderação dos resultados obtidos com a finalidade de discernir entre DMUs efetivamente eficientes e "falso-eficientes". Já na segunda, propõe-se o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que realize todos esses procedimentos, implantando a abordagem sugerida e propiciando ao gestor/usuário um acesso rápido e simples ao quadro situacional da eficiência das unidades sob sua responsabilidade.

4.1 UTILIZAÇÃO DA FRONTEIRA INVERTIDA COM PONDERAÇÃO DE RESULTADOS

Nos modelos clássicos do DEA, os pesos atribuídos aos *inputs* e *outputs* são definidos pelas próprias DMUs. Dessa forma, as DMUs são favorecidas em suas melhores práticas, podendo então o modelo apontar como eficientes algumas DMUs que, ao serem analisadas através da fronteira invertida, mostram-se ineficientes.

Baseado no método de Leta et al. (2005), é possível calcular uma fronteira de eficiência composta ponderando-se os resultados obtidos através das fronteiras padrão e invertida. O resultado é alcançado através da média aritmética entre a eficiência padrão e o valor da subtração da unidade pela eficiência invertida, como mostrado na equação 4.1. É interessante ainda que esses resultados sejam normalizados. Isto é feito através da divisão do valor da eficiência composta pelo maior valor entre todos os outros, conforme mostrado na equação 4.2 (MEZA et al., 2004).

$$Eficiência\ Composta = \frac{Eficiência\ Padrão + (1 - Eficiência\ Invertida)}{2} \quad (4.1)$$

$$Eficiência\ Composta\ Normalizada = \frac{Eficiência\ Composta}{Max(Eficiência\ Composta)} \quad (4.2)$$

O método de Savage (SAVAGE, 1951), utilizado em tomadas de decisão em ambientes com incertezas, permite uma ponderação entre os métodos otimista e pessimista. A equação 2.14, apresentada anteriormente, pode ser reescrita de modo a adaptar-se aos valores de eficiência obtidos através do DEA. Tem-se então a equação 4.3, onde Ef_o é o valor de eficiência otimista e Ef_p é o valor de eficiência calculado pela fronteira invertida (pessimista).

$$Ef_{savage} = \alpha Ef_o + (1 - \alpha)(1 - Ef_p) \quad (4.3)$$

O valor de α deve estar no intervalo (0-1). Quanto maior o valor de α , mais otimista e benevolente será a avaliação.

Para realizar a ponderação dos resultados de eficiência, efetua-se uma análise de sensibilidade da eficiência das DMUs para diversos valores do coeficiente α . As eficiências das DMUs que mantiverem seu índice independentemente do valor de α são consideradas como verdadeiras, enquanto que as eficiências das DMUs que demonstram uma diminuição do seu índice de eficiência conforme o valor de α é reduzido (dando-se ênfase à avaliação pessimista) são consideradas falsas.

4.1.1 Estudo de caso: as Policlínicas do Estado do Ceará

Segundo Meza (1998), numa modelagem DEA devem ser cumpridas três etapas para resolver um problema.

Na primeira etapa devem ser realizadas a definição e seleção das DMUs. O conjunto de DMUs adotados deve utilizar as mesmas entradas e saídas, variando apenas em intensidade. Deve ser homogêneo, isto é, realizar as mesmas tarefas, com os mesmos objetivos, trabalhar nas mesmas condições de mercado e ter autonomia na tomada de decisões. Tais exigências são totalmente atendidas pelo grupo de DMUs escolhidas para análise neste trabalho, as Policlínicas do Estado do Ceará, conforme listadas na Tabela 2.

A segunda etapa refere-se à seleção das variáveis. A escolha das variáveis de entrada e saída deve ser feita a partir de uma ampla lista de possíveis variáveis ligadas ao modelo. Esta listagem permite que se tenha maior conhecimento sobre as unidades a serem avaliadas, explicando melhor suas diferenças. É possível que um grande número de DMUs esteja

Tabela 2 – Policlínicas do Estado do Ceará

Cidade	Nome
Acaraú	Policlínica Plácido Marinho de Andrade
Aracati	Policlínica Dr José Hamilton Saraiva Barbosa
Barbalha	Policlínica Regional de Barbalha João Pereira dos Santos
Baturité	Policlínica Dr Clóvis Amora Vasconcelos
Brejo Santo	Policlínica José Gilvan Leite Sampaio
Camocim	Policlínica Coronel Libório Gomes da Silva
Campos Sales	Policlínica Bárbara Pereira de Alencar
Caucaia	Policlínica Dr José Correia Sales
Crateús	Policlínica Raimundo de Soares Resende
Icó	Policlínica Dr Sebastião Limeira Guedes
Iguatu	Policlínica Manoel Carlos de Gouveia
Itapipoca	Policlínica Francisco Pinheiro Alves
Limoeiro do Norte	Policlínica Judite Chaves Saraiva
Pacajus	Policlínica Dra Márcia Moreira de Meneses
Quixadá	Policlínica Francisco Carlos Cavalcante Roque
Russas	Policlínica Dr José Martins de Santiago
Sobral	Policlínica Bernardo Félix da Silva
Tauá	Policlínica Dr Frutuoso Gomes de Freitas
Tianguá	Policlínica Dr Francisco Edvaldo Coelho Moita

Fonte: Próprio autor

localizado na fronteira. Isto reduz a capacidade de DEA em discriminar unidades eficientes e ineficientes. Para aumentar o poder discriminatório de DEA, é recomendado que o número de DMUs analisadas seja pelo menos três vezes maior que a soma de *inputs* e *outputs*, conforme sugerem os trabalhos de Bowlin (1998) e Nunamaker (1985).

Para selecionar as variáveis, levantaram-se todas as informações de controle e monitoramento existentes acerca das Policlínicas. A prospecção dos fatores de *input* foi realizada na página eletrônica do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) (SAÚDE, 2017a). Os fatores de *output* foram obtidos através do Sistema TabWin, que permite tabular os dados do Sistema de Informações Ambulatoriais do SUS (SIASUS) fornecidos pelo Departamento de Informática do SUS (DATASUS) (SAÚDE, 2017b).

As unidades tomadoras de decisão (DMUs) são as próprias Policlínicas. Os *inputs* são as quantidades de:

- Médicos lotados na unidade de saúde;
- Demais profissionais de saúde lotados na unidade;
- Equipamentos disponíveis na unidade pertencentes à infraestrutura (aparelhos de ar-condicionado, geradores e usinas de oxigênio), destinados à realização de exames (audiométricos, oftalmológicos, cardiológicos, neurológicos e de imagem) ou utilizados em procedimentos fisioterapêuticos.

Os *outputs* são as quantidades de:

- Exames realizados (laboratoriais, audiométricos, oftalmológicos, cardiológicos, neurológicos e de imagem);
- Atendimentos realizados por profissionais não-médicos (sessões de psicoterapia, fisioterapia e consultas);
- Consultas médicas realizadas.

A terceira e última etapa trata da escolha e aplicação do modelo. Neste trabalho considerou-se o modelo SBM com retornos variáveis de escala objetivando maximizar a eficiência orientada a *outputs* (SBM-O-V), que são os serviços de saúde prestados pelas Policlínicas à população.

Nas Tabelas 3, 4, 5 e 6 são listadas as DMUs e os fatores considerados relevantes para a análise de eficiência das mesmas durante os anos de 2013, 2014, 2015 e 2016, levando em consideração a proporção sugerida por Bowlin (1998) e Nunamaker (1985). A ausência de DMUs em alguns anos refere-se ao fato de que ainda não funcionavam à época. A ausência da DMU Campos Sales no ano de 2015 deve-se ao fato de não haver informações de produção ambulatorial para aquela unidade neste ano. Os fatores de *input* são informados com (I) na frente do nome e os fatores de *output* com (O) na frente do nome.

Tabela 3 – Dados referentes ao ano de 2013

DMU	(I)Medicos	(I)Outros_Prof	(I)Equip	(O)Exames	(O)Atend_outros	(O)Consult_med
Barbalha	1	7	0	1.017	668	4.632
Baturité	24	24	6	19.112	6.529	14.870
Brejo Santo	13	11	31	147	4	2.487
Camocim	16	32	12	14.883	10.786	8.830
Icó	4	13	0	0	6	34
Itapipoca	11	16	27	2.596	6.552	5.682
Pacajus	19	29	32	8.922	7.083	8.246
Russas	9	16	38	16	16	30
Sobral	17	27	20	6.975	3.160	8.153
Tauá	30	38	7	18.016	3.913	21.610

Fonte: Próprio autor

Tabela 4 – Dados referentes ao ano de 2014

DMU	(I)Medicos	(I)Outros_Prof	(I)Equip	(O)Exames	(O)Atend_outros	(O)Consult_med
Acaraú	20	14	6	1.827	2.747	6.095
Aracati	24	28	33	3.095	831	10.804
Barbalha	21	12	35	1.017	668	4.632
Baturité	24	32	47	27.320	7.857	20.093
Brejo Santo	18	16	40	7.003	26	15.039
Camocim	16	36	14	28.764	33.456	16.911
Campos Sales	16	31	6	165	117	530
Caucaia	25	29	40	3.684	34.908	20.488
Crateús	4	28	1	1.300	2.111	2.575
Icó	17	23	26	11.083	29.060	16.938
Iguatu	21	23	29	6.929	13.261	12.631
Itapipoca	21	18	55	8.321	14.580	14.407
Lim. do Norte	21	28	31	356	12.173	4.105
Pacajus	21	32	46	8.854	6.764	15.488
Quixadá	15	32	46	13.227	3.936	11.721
Russas	18	31	38	1.990	3.896	4.591
Sobral	23	32	44	1.994	7.663	13.266
Tauá	28	26	50	18.745	5.699	28.171
Tianguá	11	21	45	2.000	2.743	3.461

Fonte: Próprio autor

Tabela 5 – Dados referentes ao ano de 2015

DMU	(I)Medicos	(I)Outros_Prof	(I)Equip	(O)Exames	(O)Atend_outros	(O)Consult_med
Acaraú	19	17	46	4.930	3.254	10.748
Aracati	24	30	33	5.889	1.147	7.923
Barbalha	24	30	35	21.008	5.097	11.298
Baturité	22	29	48	46.169	22.017	30.145
Brejo Santo	23	20	45	33.575	2.739	27.318
Camocim	16	37	12	12.672	7.224	10.620
Caucaia	28	29	40	4.488	24.523	14.008
Crateús	18	30	51	12.628	3.329	10.266
Icó	22	34	26	22.391	16.015	15.762
Iguatu	27	24	33	11.732	35.250	20.679
Itapipoca	18	19	55	4.911	14.234	15.158
Lim. do Norte	26	33	35	20.076	15.113	14.892
Pacajus	23	34	46	8.086	4.254	11.327
Quixadá	26	34	46	19.714	7.250	20.319
Russas	20	34	38	13.451	5.896	19.480
Sobral	23	31	44	8.941	7.979	16.394
Tauá	31	25	50	27.110	5.608	31.025
Tianguá	20	22	45	6.416	1.783	14.252

Fonte: Próprio autor

Tabela 6 – Dados referentes ao ano de 2016

DMU	(I)Medicos	(I)Outros_Prof	(I)Equip	(O)Exames	(O)Atend_outros	(O)Consult_med
Acaraú	15	21	46	8.366	1.268	8.598
Aracati	28	32	33	6.834	6.576	15.041
Barbalha	34	40	35	42.517	4.695	17.773
Baturité	23	29	48	49.148	14.012	22.914
Brejo Santo	25	24	45	45.672	3.512	54.018
Camocim	16	38	13	11.191	3.743	13.303
Campos Sales	15	28	6	727	2.785	7.123
Caucaia	24	32	41	9.499	10.428	17.569
Crateús	23	29	51	19.787	5.978	14.819
Icó	20	35	39	14.440	839	15.527
Iguatu	31	24	33	27.865	19.925	25.842
Itapipoca	16	21	55	10.658	25.330	13.995
Lim. do Norte	24	33	35	16.706	1.985	16.701
Pacajus	24	39	46	8.039	4.483	14.504
Quixadá	26	35	46	23.376	10.670	14.425
Russas	18	37	38	21.741	8.485	19.585
Sobral	27	42	44	10.973	9.801	21.459
Tauá	35	40	50	29.142	5.606	32.374
Tianguá	20	22	45	4.714	1.841	9.830

Fonte: Próprio autor

5 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Como pôde ser visto, a metodologia sugerida neste trabalho é deveras trabalhosa em virtude da quantidade de DMUs e fatores utilizados no modelo DEA aplicado. Assim, com o intuito de automatizar este procedimento, surgiu o sistema Eficiência.SUS. Trata-se de uma ferramenta computacional que realiza o processamento DEA e aplica o método de ponderação de resultados, exibindo-os através de tabelas e gráficos. Essa ferramenta busca propiciar ao gestor/usuário um acesso rápido e simples ao quadro situacional da eficiência das unidades sob sua responsabilidade.

Para realizar-se o desenvolvimento do motor da ferramenta, escolheu-se a linguagem Java pois trata-se de uma linguagem multiplataforma que conta com uma biblioteca gratuita que implementa diversos modelos DEA. A *Open Source Data Envelopment Code* (ou *OSDEA Code*) é uma biblioteca de *benchmarking* codificada em Java baseada em algoritmos de Análise Envoltória de Dados e que pode ser usada livremente bastando para tanto importar para o programa Java o arquivo JAR fornecido (VIRTOS, 2016).

Para o desenvolvimento da camada de visão da ferramenta, optou-se pela linguagem *Hypertext Preprocessor* (PHP) por possuir integração com Java. Além disso, o PHP é especialmente adequado para o desenvolvimento web pois pode ser embutido dentro do código HTML.

5.1 INTERFACE COM O USUÁRIO

A aplicação é baseado na web, com design responsivo, podendo ser utilizado tanto por usuários em servidores de *Business Intelligence* (BI) com grandes capacidades de armazenamento de informações como por usuários com dispositivos móveis. Ela possui dois módulos:

- Administrador: onde os dados das DMUs são carregados e processados.
- Usuário: onde os resultados podem ser vistos através de tabelas e gráficos.

No módulo Administrador, o usuário informa o mês e o ano referentes aos dados que serão enviados. Em seguida, ele deve realizar o *upload* de um arquivo .csv que contém na sua primeira linha os nomes dos fatores e a indicação se é um *input(I)* ou um *output(O)*. As demais linhas do arquivo indicam as DMUs, que devem possuir identificadores únicos, e seus respectivos dados. Por fim, esse módulo se comunica com o motor DEA, o qual realiza o processamento dos dados. A página do módulo Administrador pode ser vista na Figura 6 e um modelo do arquivo

.csv é mostrado na Figura 7.

Figura 6 – Página de upload do sistema (modo administrador)



Fonte: Próprio autor

Figura 7 – Modelo do arquivo .csv

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	DMU	(I)Medicos	(I)Outros_prof	(I)Equipamentos	(O)Exames	(O)Consult_outros	(O)Consult_med	
2	ACARAU	15	21	46	8366	1268	8598	
3	ARACATI	28	32	33	6834	6576	15041	
4	BARBALHA	34	40	35	42517	4695	17773	
5	BATURITE	23	29	48	49148	14012	22914	
6	BREJO SANTO	25	24	45	45672	3512	54018	
7	CAMOCIM	16	38	13	11191	3743	13303	
8	CAMPOS SALES	15	28	6	727	2785	7123	
9	CAUCAIA	24	32	41	9499	10428	17569	
10	CRATEUS	23	29	51	19787	5978	14819	
11	ICO	20	35	39	14440	839	15527	
12	IGUATU	31	24	33	27865	19925	25842	
13	ITAPIPOCA	16	21	55	10658	25330	13995	
14	LIMOEIRO DO NORTE	24	33	35	16706	1985	16701	
15	PACAUJUS	24	39	46	8039	4483	14504	
16	QUIXADA	26	35	46	23376	10670	14425	
17	RUSSAS	18	37	38	21741	8485	19585	
18	SOBRAL	27	42	44	10973	9801	21459	
19	TAUA	35	40	50	29142	5606	32374	
20	TIANGUA	20	22	45	4714	1841	9830	
21								

Fonte: Próprio autor

A Figura 8 exibe a página inicial do sistema no modo Usuário. Nela é exibido o mapa do Estado Ceará, contendo a localização de cada Policlínica. Para acessar as informações de eficiência de qualquer Policlínica, o usuário pode clicar sobre ela no mapa ou escolhê-la na lista do menu lateral esquerdo, conforme é exibido na Figura 9.

Para dispositivos com telas maiores (*tablets*, *notebooks* e PCs), a página inicial é exibida conforme a Figura 10. Nela também há um menu com a lista das Policlínicas, conforme é mostrado na Figura 11.

Na página inicial há um botão onde o usuário pode clicar para ver o Ranking atual das Policlínicas (baseado nas eficiências do ano mais recente). A Figura 12 mostra a página contendo esse Ranking.

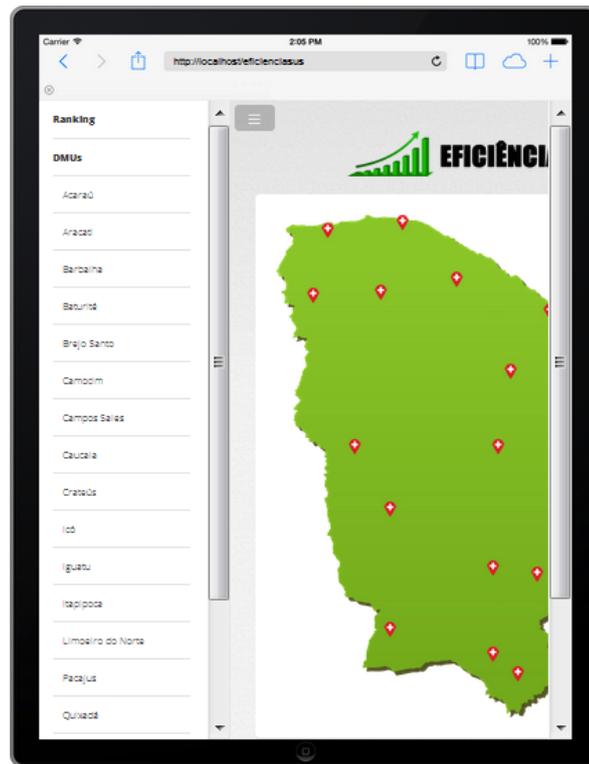
Ao clicar em uma Policlínica no mapa ou em um dos menus, o sistema exibe a página mostrada na Figura 13. Nela, o gestor tem acesso a informações detalhadas acerca da eficiência da Policlínica em questão como a posição dela no *ranking*, *benchmark* caso exista e ações a serem executadas para atingir a fronteira de eficiência, caso não seja eficiente. Nesta página há também um botão onde o gestor pode visualizar a evolução temporal das eficiências daquela Policlínica ao longo dos anos/períodos analisados, conforme mostrado na Figura 14.

Figura 8 – **Página inicial do sistema**



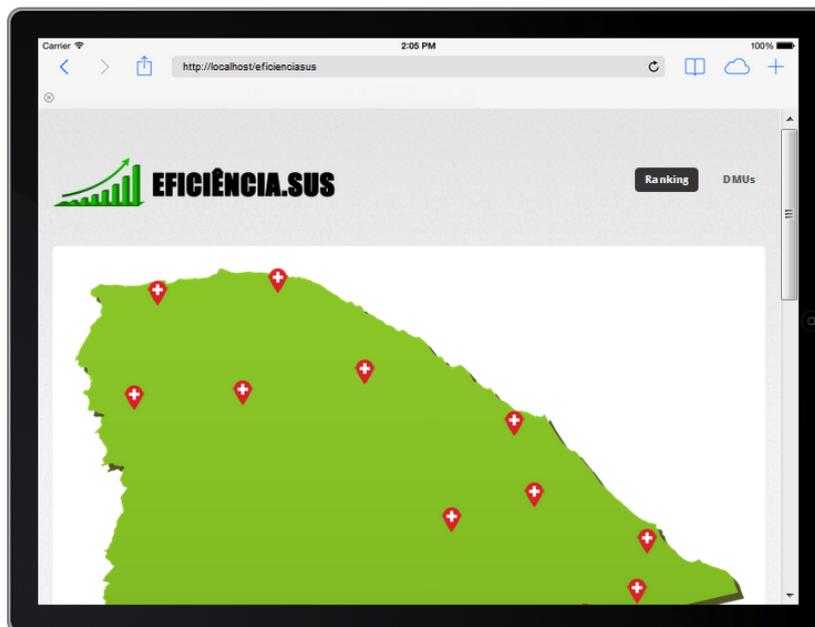
Fonte: Próprio autor

Figura 9 – Menu lateral da tela principal



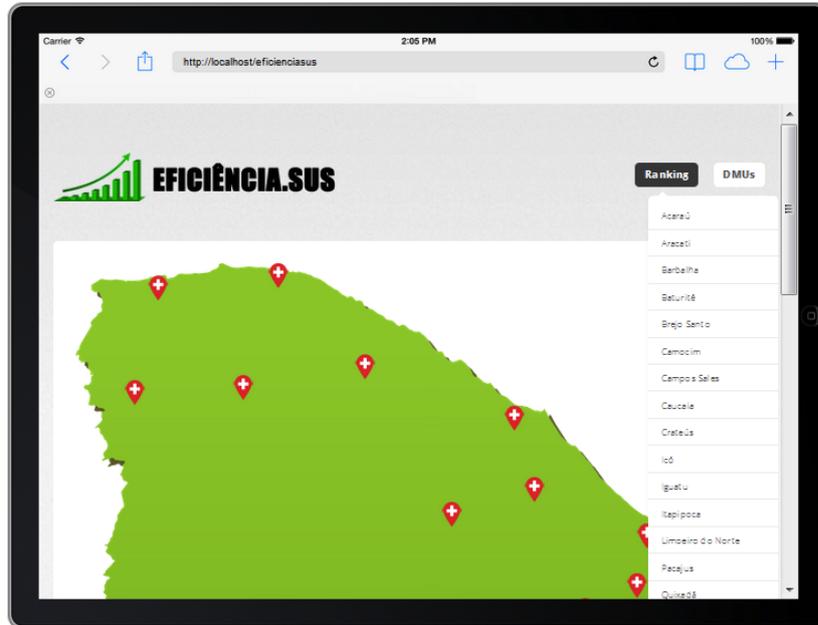
Fonte: Próprio autor

Figura 10 – Página inicial para dispositivos com tela grande



Fonte: Próprio autor

Figura 11 – Menu da página inicial para dispositivos com tela grande



Fonte: Próprio autor

Figura 12 – Página de Ranking

The screenshot shows the ranking page of the website 'EFICIÊNCIA.SUS' on a large tablet. The page displays a table with the following data:

Posição	Eficiência	Policlínica
1	100%	Russas – Policlínica Dr José Martins de Santiago
2	97,70%	Baturité – Policlínica Dr Clóvis Amora Vasconcelos
3	97,41%	Iguatu – Policlínica Manoel Carlos de Gouveia
4	95,40%	Brejo Santo – Policlínica Jose Gilvan Leite Sampaio
5	90,76%	Acaraú – Policlínica Plácido Marinho de Andrade
5	90,76%	Barbalha – Policlínica Regional de Barbalha João Pereira dos Santos
5	90,76%	Camocim – Policlínica Coronel Libório Gomes da Silva
5	90,76%	Campos Sales – Policlínica Bárbara Pereira de Alencar
5	90,76%	Itapipoca – Policlínica Francisco Pinheiro Alves

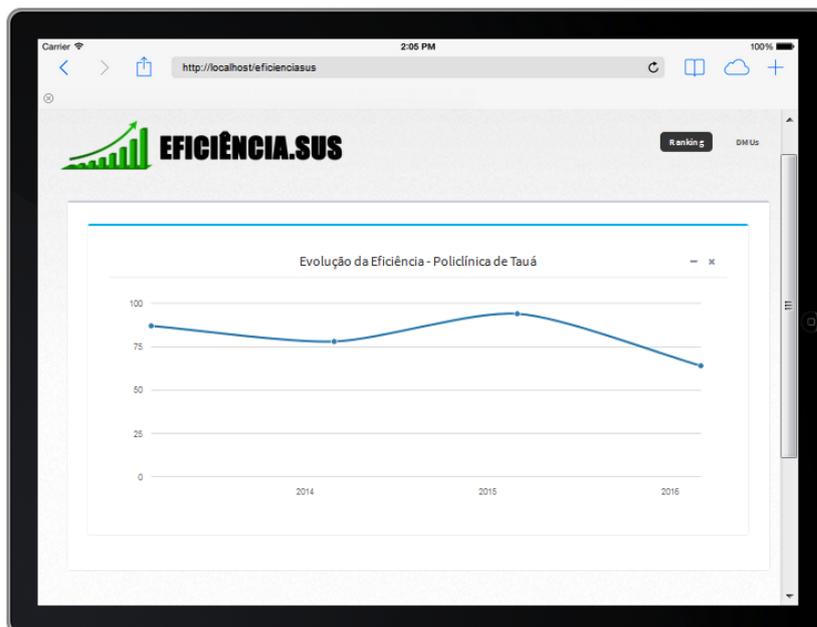
Fonte: Próprio autor

Figura 13 – Página de Resultados



Fonte: Próprio autor

Figura 14 – Página de evolução da eficiência da Policlínica



Fonte: Próprio autor

6 RESULTADOS

O modelo DEA SBM com retornos variáveis de escala orientado a *outputs* (SBM-O-V) foi aplicado aos dados das Tabelas 3, 4, 5 e 6. Em seguida, com a finalidade de obterem-se os valores de eficiência da fronteira invertida, substituíram-se os *inputs* pelos *outputs* e vice-versa, aplicando-se então novamente o modelo SBM-O-V. De posse desses dados, calcularam-se os valores das eficiências compostas segundo a equação 4.1. Por fim, os valores encontrados foram normalizados segundo a equação 4.2. Os resultados obtidos podem ser observados nas Tabelas 7, 8, 9 e 10.

Tabela 7 – Eficiência das Policlínicas do Estado do Ceará no ano de 2013

DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta Normalizada
Barbalha	1	1	0,5000	0,6737
Baturité	1	0,5156	0,7422	1
Brejo Santo	0,0050	1	0,0025	0,0034
Camocim	1	1	0,5000	0,6737
Icó	0,9997	1	0,4999	0,6735
Itapipoca	1	0,8197	0,5902	0,7951
Pacajus	0,6683	1	0,3342	0,4502
Russas	0,0052	1	0,0026	0,0035
Sobral	0,5029	1	0,2514	0,3388
Tauá	1	1	0,5000	0,6737

Fonte: Próprio autor

No estudo apresentado pela Tabela 7, a DMU considerada como verdadeira eficiente é Baturité. Percebe-se pelos resultados da fronteira padrão que as Policlínicas de Barbalha, Baturité, Camocim, Itapipoca e Tauá são eficientes. Em contrapartida, segundo a fronteira invertida, apenas as DMUs de Baturité e Itapipoca não possuem as piores práticas. Isso evidencia que a fronteira padrão indicou uma falsa eficiência para as DMUs de Barbalha, Camocim e Tauá. Conforme será mostrado adiante, a situação repete-se com a DMU Tauá em quase todos os anos analisados (2013, 2014 e 2015). Tal resultado é interessante e merece atenção especial por parte dos gestores responsáveis pois esta Policlínica é considerada como referência no Estado e o território onde está inserida tem sido historicamente beneficiado com projetos e programas piloto tais como a Planificação da Atenção Primária em Saúde e o recente QualificaAPSUS (SESA, 2016).

A Tabela 8 mostra que, no ano de 2014, a DMU Crateús é evidenciada como verdadeira eficiente. Pelos resultados alcançados através da análise da fronteira padrão, as

Tabela 8 – Eficiência das Policlínicas do Estado do Ceará no ano de 2014

DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta Normalizada
Acaraú	1	0,3365	0,8318	0,8731
Aracati	0,0676	1	0,0338	0,0355
Barbalha	0,9998	1	0,4999	0,5248
Baturité	1	1	0,5000	0,5249
Brejo Santo	0,9957	1	0,4979	0,5226
Camocim	1	1	0,5000	0,5249
Campos Sales	0,0145	1	0,0072	0,0076
Caucaia	1	1	0,5000	0,5249
Crateús	1	0,0948	0,9526	1
Icó	1	0,6642	0,6679	0,7011
Iguatu	0,5846	0,7560	0,4143	0,4349
Itapipoca	1	1	0,5000	0,5249
Limoeiro do Norte	0,0471	1	0,0235	0,0247
Pacajus	0,3541	1	0,1770	0,1858
Quixadá	0,2898	1	0,1449	0,1521
Russas	0,1311	1	0,0656	0,0688
Sobral	0,1744	1	0,0872	0,0916
Tauá	1	1	0,5000	0,5249
Tianguá	0,9998	1	0,4999	0,5248

Fonte: Próprio autor

Policlínicas de Acaraú, Baturité, Camocim, Caucaia, Crateús, Icó, Itapipoca e Tauá são eficientes. Em contrapartida, segundo a fronteira invertida, apenas as DMUs Acaraú, Crateús, Icó e Iguatu não possuem as piores práticas. Isso evidencia que a fronteira padrão indicou uma falsa eficiência para as DMUs de Baturité, Camocim, Caucaia, Itapipoca e Tauá.

Tabela 9 – Eficiência das Policlínicas do Estado do Ceará no ano de 2015

DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta Normalizada
Acaraú	0,9999	1	0,4999	0,8472
Aracati	0,0999	1	0,0500	0,0846
Barbalha	0,3553	0,9182	0,2185	0,3703
Baturité	1	0,9056	0,5472	0,9273
Brejo Santo	1	0,9288	0,5356	0,9077
Camocim	1	1	0,5000	0,8473
Caucaia	0,2976	1	0,1488	0,2522
Crateús	0,4344	1	0,2172	0,3681
Icó	0,9531	0,7728	0,5901	1
Iguatu	1	0,8312	0,5844	0,9903
Itapipoca	1	1	0,5000	0,8473
Limoeiro do Norte	0,6711	1	0,3356	0,5686
Pacajus	0,2259	1	0,1129	0,1914
Quixadá	0,4405	1	0,2202	0,3732
Russas	0,4468	0,8747	0,2861	0,4848
Sobral	0,3326	0,9518	0,1904	0,3226
Tauá	1	1	0,5000	0,8473
Tianguá	0,2397	1	0,1199	0,2031

Fonte: Próprio autor

A Tabela 9 mostra que, no ano de 2015, a DMU considerada como verdadeira eficiente é Icó. A DMU Campos Sales não figurou neste estudo pois não possui informações de produção ambulatorial no Sistema de Informações Ambulatoriais do SUS (SIASUS) para este ano. Analisando-se os resultados da fronteira padrão, as DMUs Baturité, Brejo Santo, Camocim, Iguatu, Itapipoca e Tauá são consideradas eficientes. Já pela análise da fronteira invertida, as DMUs que não apresentam as piores práticas são Barbalha, Baturité, Brejo Santo, Icó, Iguatu, Russas e Sobral. Percebe-se, assim, que a fronteira padrão indicou uma eficiência falsa para as DMUs Camocim, Itapipoca e Tauá.

Tabela 10 – Eficiência das Policlínicas do Estado do Ceará no ano de 2016

DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta Normalizada
Acaraú	0,9990	1	0,4995	0,7854
Aracati	0,3515	1	0,1758	0,2764
Barbalha	1	1	0,5000	0,7862
Baturité	1	0,8287	0,5857	0,9208
Brejo Santo	1	0,8075	0,5963	0,9375
Camocim	1	1	0,5000	0,7862
Campos Sales	1	1	0,5000	0,7862
Caucaia	0,4217	0,8778	0,2719	0,4276
Crateús	0,4707	1	0,2353	0,3700
Icó	0,1215	1	0,0608	0,0955
Iguatu	1	0,7279	0,6360	1
Itapipoca	1	1	0,5000	0,7862
Limoeiro Do Norte	0,2569	1	0,1285	0,2020
Pacajus	0,2815	1	0,1408	0,2213
Quixadá	0,5503	1	0,2752	0,4326
Russas	1	0,7795	0,6103	0,9595
Sobral	0,4408	1	0,2204	0,3465
Tauá	0,6032	1	0,3016	0,4742
Tianguá	0,2229	1	0,1115	0,1753

Fonte: Próprio autor

Por fim, a Tabela 10 mostra que a DMU considerada verdadeira eficiente no ano de 2016 é Iguatu. As DMUs Barbalha, Baturité, Brejo Santo, Camocim, Campos Sales, Iguatu, Itapipoca e Russas são apontadas como eficientes pela fronteira padrão. Já a fronteira invertida mostra que apenas as DMUs Baturité, Brejo Santo, Caucaia, Iguatu e Russas não tiveram as piores práticas. Assim, percebe-se que a fronteira padrão evidenciou como falso eficientes as DMUs Barbalha, Camocim, Campos Sales e Itapipoca.

6.1 APLICAÇÃO DA PONDERAÇÃO DE RESULTADOS

A aplicação da ponderação ao caso das Policlínicas através do uso da metodologia de Savage permite que seja realizada uma análise de sensibilidade da eficiência dessas unidades. Realiza-se tal ponderação variando-se o coeficiente de otimismo α . É importante observar que a Eficiência Composta calculada anteriormente corresponde ao modelo ponderado com coeficiente $\alpha=0,5$, conforme é possível observar nas equações 6.1 e 6.2.

$$Ef_{savage} = \alpha Ef_o + (1 - \alpha)(1 - Ef_p) \quad (6.1)$$

Onde:

Ef_o é a eficiência otimista (ou padrão),

Ef_p é a eficiência pessimista (ou invertida).

Fazendo $\alpha = 0,5$ na equação 6.1 tem-se:

$$\begin{aligned} Ef_{savage} &= 0,5Ef_o + (1 - 0,5)(1 - Ef_p) = \\ 0,5Ef_o + 0,5(1 - Ef_p) &= \frac{Ef_o + (1 - Ef_p)}{2} \end{aligned} \quad (6.2)$$

Na Tabela 11 são mostradas as eficiências obtidas através da aplicação da equação 6.1 nos resultados obtidos através do estudo do ano de 2016 (Tabela 10), variando-se o valor do coeficiente α de 1 a 0,1 em intervalos de 0,1. Os valores apresentados na tabela estão normalizados.

É possível perceber que as Policlínicas de Caucaia e Iguatu apresentam pouca e nenhuma variação, respectivamente, em seus valores de eficiência independentemente do valor atribuído ao coeficiente de ponderação. Todas as demais DMUs tem suas eficiências reduzidas à medida em que o coeficiente diminui, dando maior ênfase às más práticas dessas unidades.

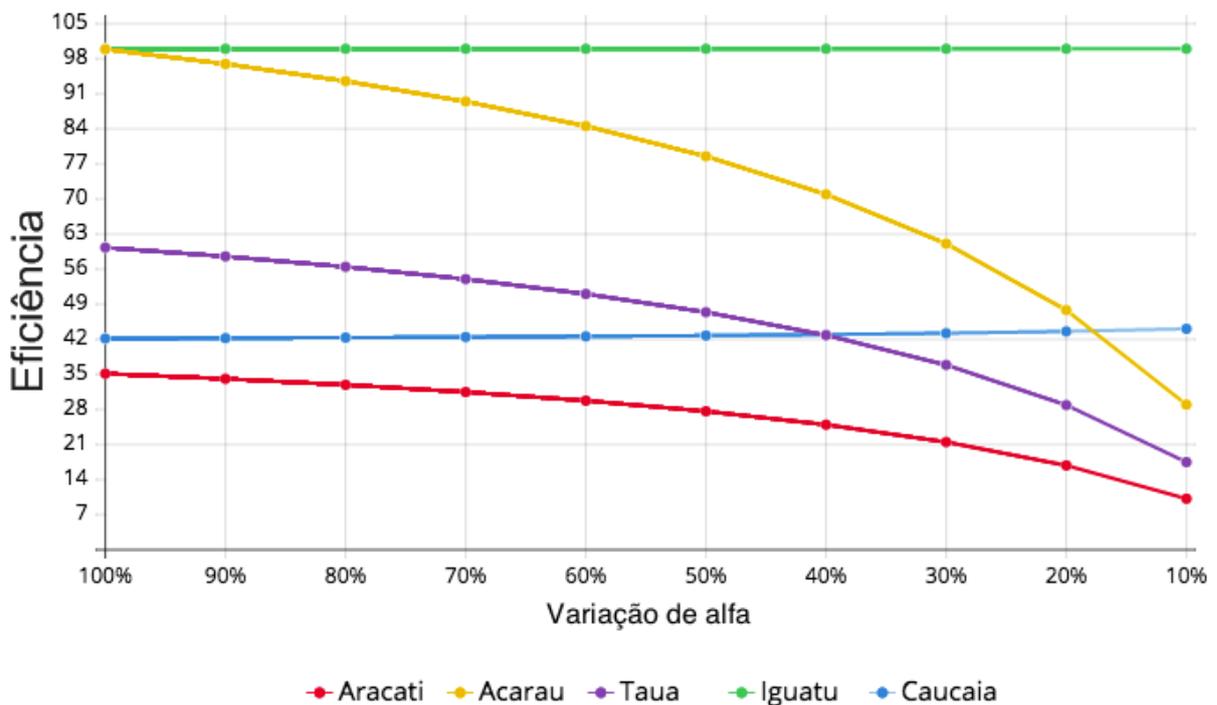
Na Figura 15 é mostrada a representação gráfica das eficiências de algumas Policlínicas conforme o valor do coeficiente α varia.

Tabela 11 – Eficiências das Policlínicas do Estado do Ceará para diversos valores de α

DMU	Alfa (coeficiente do modelo ponderado)									
	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Acaraú	0,9990	0,9697	0,9354	0,8947	0,8457	0,7854	0,7094	0,6110	0,4783	0,2897
Aracati	0,3515	0,3412	0,3292	0,3148	0,2976	0,2764	0,2496	0,2150	0,1683	0,1019
Barbalha	1	0,9707	0,9363	0,8956	0,8465	0,7862	0,7101	0,6116	0,4788	0,2899
Baturité	1	0,9891	0,9764	0,9613	0,9432	0,9208	0,8926	0,8561	0,8069	0,7369
Brejo Santo	1	0,9914	0,9814	0,9695	0,9552	0,9375	0,9152	0,8864	0,8476	0,7923
Camocim	1	0,9707	0,9363	0,8956	0,8465	0,7862	0,7101	0,6116	0,4788	0,2899
Campos Sales	1	0,9707	0,9363	0,8956	0,8465	0,7862	0,7101	0,6116	0,4788	0,2899
Caucaia	0,4217	0,4225	0,4235	0,4246	0,4259	0,4276	0,4296	0,4323	0,4359	0,4410
Crateús	0,4707	0,4569	0,4407	0,4215	0,3984	0,3700	0,3342	0,2879	0,2254	0,1365
Icó	0,1215	0,1180	0,1138	0,1088	0,1029	0,0955	0,0863	0,0743	0,0582	0,0352
Iguatu	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Itapipoca	1	0,9707	0,9363	0,8956	0,8465	0,7862	0,7101	0,6116	0,4788	0,2899
Limoeiro do Norte	0,2569	0,2494	0,2406	0,2301	0,2175	0,2020	0,1824	0,1571	0,1230	0,0745
Pacajus	0,2815	0,2733	0,2636	0,2521	0,2383	0,2213	0,1999	0,1722	0,1348	0,0816
Quixadá	0,5503	0,5342	0,5153	0,4929	0,4659	0,4326	0,3908	0,3366	0,2635	0,1596
Russas	1	0,9944	0,9880	0,9802	0,9710	0,9595	0,9450	0,9264	0,9012	0,8654
Sobral	0,4408	0,4279	0,4127	0,3948	0,3731	0,3465	0,3130	0,2696	0,2111	0,1278
Tauá	0,6032	0,5855	0,5648	0,5402	0,5106	0,4742	0,4283	0,3689	0,2888	0,1749
Tianguá	0,2229	0,2164	0,2087	0,1997	0,1887	0,1753	0,1583	0,1364	0,1067	0,0646

Fonte: Próprio autor

Figura 15 – Evolução das eficiências das Policlínicas



Fonte: Próprio autor

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia DEA aplicada na área de saúde para medir desempenho das Policlínicas do Estado do Ceará mostrou-se altamente robusta, confiável, precisa e de fácil entendimento por parte dos gestores públicos nos processos de apoio às decisões gerenciais e operacionais.

A combinação entre as fronteiras padrão e invertida, formando a fronteira composta aumenta o poder discriminatório do DEA, evidenciando as DMUs que são falsas eficientes.

A análise de sensibilidade resultando da combinação entre o DEA e o modelo de Savage se constitui numa rica e poderosa ferramenta de gestão pois permite uma avaliação de desempenho mais precisa das DMUs. Nesta análise, as DMUs que mantiveram seu nível de eficiência independente do valor do coeficiente de ponderação têm suas eficiências consideradas como verdadeiras.

Pode ser vista como uma limitação o fato de a ferramenta proposta não permitir ao usuário a escolha do modelo DEA a ser executado. Entretanto, por tratar-se de uma ferramenta desenvolvida para um problema específico, compreendeu-se ser necessário não fornecer ao gestor/usuário a liberdade de escolha do modelo. Assim, decidiu-se impedir a execução de estudos que trariam resultados diferentes dos citados neste trabalho, os quais gerariam dúvidas junto ao gestor/usuário leigo em DEA quanto à correteza da metodologia utilizada.

A garantia de uma informação de qualidade é condição essencial para a análise objetiva da situação sanitária, para a tomada de decisões baseadas em evidências e para a programação de ações de saúde (OSTORINO et al., 2002). No Brasil, o monitoramento da qualidade dos dados dos Sistemas de Informação em Saúde (SIS) não segue um plano sistemático de avaliações (LIMA et al., 2009). Assim, a principal fragilidade do trabalho e, conseqüentemente, do sistema está na qualidade dos dados levantados para elaboração da pesquisa.

Por fim, acredita-se que este trabalho traz grande contribuição para a melhoria da gestão do SUS, proporcionando aos gestores uma nova forma de avaliar os resultados das ações implementadas bem como auxiliando-os no processo de tomada de decisão.

7.1 TRABALHOS PUBLICADOS

Este trabalho já gerou duas aprovações para apresentação em eventos *Qualis B4*, sendo a primeira apresentada no formato de pôster no XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, realizado em Porto de Galinhas - PE no período de 25 a 28 de agosto de 2015; e a

segunda apresentada no formato de artigo completo no XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, realizado em Vitória - ES no período de 27 a 30 de setembro de 2016.

7.2 TRABALHOS FUTUROS

Pretende-se estender as funcionalidades da ferramenta, flexibilizando-se, após estudos, o uso de outros modelos e orientações. Tal ação possibilitará que outros tipos de unidades de saúde além das Policlínicas tenham suas eficiências analisadas (hospitais, postos de saúde, etc), proporcionando aos gestores nas diversas esferas governamentais mais um instrumento para o auxílio na tomada de decisão.

Além disso, pretende-se submeter esta dissertação, no formato de artigo, para um periódico.

REFERÊNCIAS

- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management science**, INFORMS, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984.
- BARBA-ROMERO, S.; POMEROL, J. **Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos e utilización práctica**. [S.l.]: Universidad de Alcalá, Madrid, 1997.
- BEZERRA, D. **Avaliação de Eficiência de Redes Corporativas utilizando Análise Envolvória de Dados**. Dissertação (Dissertação de Mestrado do Programa de Mestrado em Computação Aplicada) — UECE/IFCE, Fortaleza, 2010.
- BOWLIN, W. F. Measuring performance: An introduction to data envelopment analysis (dea). **The Journal of Cost Analysis**, Taylor & Francis, v. 15, n. 2, p. 3–27, 1998.
- CAVALCANTI, C. **Avaliação da Regionalização da Saúde no Estado do Ceará**. Dissertação (Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva Associação Ampla) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- CEARÁ. **Indicadores e Dados Básicos para a Saúde no Ceará 2005 / Secretaria da Saúde do Estado do Ceará**. Fortaleza, CE, 2007. Disponível em: <<http://www.saude.ce.gov.br/index.php/downloads/category/45-idb?download=273:indicadores-e-dados-basicos-para-a-saude-idb-2005>>. Acesso em: 05 mai. 2016.
- CEARÁ. **Portaria n. 6493, de 25 de novembro de 2009**. Fortaleza, CE, 2009.
- CEARÁ. **Plano Estadual de Saude 2016-2019**. Fortaleza, CE, 2016. Disponível em: <<http://tinyurl.com/jhwayux>>. Acesso em: 29 fev. 2016.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal Operational Research**, Amsterdam, North-Holland, v. 2, p. 429–444, 1978.
- COOPER, W. Seiford. **LM and Tone, K.(2000) Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**. [S.l.]: Boston: Kluwer Academic Publishers, 2007.
- DEBREU, G. The coefficient of resource utilization. **Journal of Econometric Society**, v. 19, n. 3, p. "273–292", 1951.
- DORES, C. C. C. Análise envoltória de dados para composição de indicadores de eficiência de unidades de saúde: avaliação do desempenho de policlínicas no estado do ceará. **XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2015.
- ENTANI, T.; MAEDA, Y.; TANAKA, H. Dual models of interval dea and its extension to interval data. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 136, n. 1, p. 32–45, 2002.
- FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistic Society**, 1957.
- GONÇALVES, A. C.; NORONHA, C. P.; LINS, M. P. E.; ALMEIDA, R. M. V. R. Análise envoltória de dados na avaliação de hospitais públicos nas capitais brasileiras. **Revista de Saúde Pública**, 2007.

HOLANDA, M. C.; PETTERINI, F. C.; NOGUEIRA, C. A. G. O sus no ceará: Avaliação de eficiência técnica nos municípios. **Textos para discussão do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE**, 2004.

HOTELLING, H. Relations between two sets of variates. **Biometrika**, JSTOR, v. 28, n. 3/4, p. 321–377, 1936.

KOOPMANS, T. C. (Ed.). **Activity analysis of production and allocation**. New York: John Wiley and Sons, 1951.

LETA, F. R.; MELLO, J. C.; GOMES, E. G.; MEZA, L. A. Métodos de melhora de ordenação em dea aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos. **Investigação Operacional**, APDIO- Associação Portuguesa de Investigação Operacional, v. 25, n. 2, p. 229–242, 2005.

LIMA, C. R. d. A.; SCHRAMM, J. M. d. A.; COELI, C. M.; SILVA, M. E. M. d. Revisão das dimensões de qualidade dos dados e métodos aplicados na avaliação dos sistemas de informação em saúde. **Cadernos de Saúde Pública**, SciELO Public Health, v. 25, n. 10, p. 2095–2109, 2009.

LINHARES, P. H. A.; LIRA, G. V.; ALBUQUERQUE, I. M. N. Avaliação do programa nacional de melhoria do acesso e da qualidade da atenção básica no estado do ceará. **Saúde debate**, 2014.

LOBO, M. C.; LINS, M. P. E. Avaliação da eficiência dos serviços de saúde por meio da análise envoltória de dados. **Cadernos de Saúde Coletiva**, 2011.

MARQUES, R. Regulação de serviços públicos. **Edições Sílabo, Lisboa**, 2005.

MEZA, L. **Data Envelopment analysis na determinação da eficiência dos programas de pós-graduação da COPPE/UFRJ**. Dissertação (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

MEZA, L. A.; NETO, L. B.; MELLO, J.; GOMES, E.; COELHO, P. Fsdá-free software for decision analysis (slad—software livre de apoio à decisão): a software package for data envelopment analysis models. In: **CONGRESO LATINO-IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA—CLAIO**. [S.l.: s.n.], 2004. v. 12.

NCBI, U. N. L. of M. **PubMED/MEDLINE**. 2016. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>>. Accessed: 2016-09-26.

NUNAMAKER, T. R. Using data envelopment analysis to measure the efficiency of non-profit organizations: A critical evaluation. **Managerial and decision Economics**, Wiley Online Library, v. 6, n. 1, p. 50–58, 1985.

O'NEILL, L.; RAUNER, M.; HEIDENBERGER, K.; KRAUS, M. A cross-national comparison and taxonomy of dea-based hospital efficiency studies. **Socio-Economic Planning Sciences**, 2007.

OSTORINO, R. et al. **Indicadores básicos de saúde no Brasil: conceitos e aplicações**. [S.l.]: OPS, 2002.

SAÚDE, M. da. **Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde**. 2017. <<http://cnes.datasus.gov.br>>. Accessed: 2017-02-08.

SAÚDE, M. da. **Departamento de Informática do SUS**. 2017. <<http://datasus.saude.gov.br>>. Accessed: 2017-02-08.

SAVAGE, L. J. The theory of statistical decision. **Journal of the American Statistical association**, Taylor & Francis, v. 46, n. 253, p. 55–67, 1951.

SESA. **Planificação da Atenção Primária**. 2016. <<http://www.saude.ce.gov.br/index.php/projeto-qualificaapsus-ceara/planificacao-da-atencao-primaria>>. Accessed: 2016-09-27.

SILVA, R.; VIDAL, M. B. Níveis de eficiência nos serviços de saúde pública na região norte. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, 2008.

SMITH, P. Large scale models and large scale thinking: The case of the health services. **Omega**, Elsevier, v. 23, n. 2, p. 145–157, 1995.

SOARES, M.; BAPTISTA, J. C. C.; MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; NETO, L. B. Curso de análise de envoltória de dados. **SBPO-XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2005.

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

VIANA, A. L. D.; LIMA, L. D. **Regionalização e relações federativas na política de saúde do Brasil**. Rio de Janeiro: Contra Capa, 2011.

VIRTOS, H. **Open Source DEA**. 2016. <<http://opensourcedea.org/osdea-code/>>. Accessed: 2016-08-30.

YAMADA, Y.; MATUI, T.; SUGIYAMA, M. New analysis of efficiency based on dea. **Journal of the Operations Research Society of Japan**, v. 37, n. 2, p. 158–167, 1994.