



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO
ON-LINE

02 a 04
de dezembro 2020

Avaliação da eficiência tecnológica utilizando a ferramenta de Análise Envoltória de Dados (DEA)

Felipe dos Santos Celeghini

Engenharia de Produção – UNICAMP

Paulo Sérgio de Arruda Ignácio

Engenharia de Produção – UNICAMP

Resumo: A tecnologia é um fator essencial para explicar a competição econômica entre os países avançados e uma maneira de quantificar utilizando como indicador baseado em estatísticas de patentes que são classificadas de acordo com a Classificação Internacional de Patentes (IPC). O objetivo desta pesquisa é quantificar, avaliar e caracterizar a eficiência da inovação tecnológica em indústrias no setor ligado a manufatura de produtos. Para analisar a inovação tecnológica de uma indústria será utilizado como parâmetro o número de patentes registradas pela indústria, e para calcular a eficiência tecnológica de uma empresa será elaborado um modelo com o método DEA - Análise Envoltória de Dados - que se baseia em uma programação matemática que busca analisar a eficiência baseado em inputs e outputs. Os resultados obtidos servirão para avaliar o desempenho do setor investigado sobre o investimento em inovação tecnológica, evidenciando a necessidade de se investir na indústria de manufatura para se obter uma melhor eficiência em termos de inovação tecnológica.

Palavras chave: DEA, eficiência tecnológica, competitividade, indústria, manufatura.

Technological efficiency assessment using the Data Envelopment Analysis (DEA)

Abstract: Technology is an essential factor to explain the economic competition among the advanced countries and a way of quantifying using as an indicator based on patent statistics that are classified according to the International Patent Classification (IPC). The objective of this research is to quantify, evaluate and mark the efficiency of technological innovation in industries in the sector related to the manufacture of products. To review the technological innovation of an industry, the number of patents registered by the industry will be used as a parameter, and to calculate the technological efficiency of a company, a model will be developed using the DEA method - Data Envelopment Analysis - which is based on a mathematical programming which seeks to analyze efficiency based on inputs and outputs. The results obtained will serve to evaluate the performance of the investigated sector on investment in technological innovation.

Keywords: DEA, technological efficiency, competitiveness, industry, manufacturing.

1. Introdução

O conceito de tecnologia é utilizado e amplificado para diversas áreas, aplicando-se esse conceito na área de manufatura, tecnologia envolverá o conjunto de objetos físicos e operações técnicas dentro de uma indústria, Steensma (1996) define tecnologia como “um corpo de conhecimentos, ferramentas e técnicas, derivados da ciência e da experiência prática, que é usado no

desenvolvimento, projeto, produção, e aplicação de produtos, processos, sistemas e serviços”.

A indústria brasileira apresentou diversas transformações estruturais na década de 90, apresentando uma competitividade das indústrias nacionais, o que foi impulsionado pela Lei de Propriedade intelectual que protege novos produtos, processos e patentes (MENDONÇA, 2005). Já na década seguinte a indústria brasileira apresentou um crescimento de 2,9 % (anual), e com o decorrer dos anos a indústria brasileira de transformação esteve cada vez mais presente na economia brasileira durante a década, a partir de dados oferecidos pela PINTEC é possível notar o aumento de investimento em inovações, como a compra de novos equipamentos, treinamento dos funcionários e também um maior investimento na área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

Como consequência da busca por novas tecnologias, amplificou-se a competitividade, o que tem intensificado e incentivado cada vez mais a globalização, abertura econômica e intensificação comercial a fim de garantir a competitividade no cenário mundial. Um fator que determinou o aumento da competitividade é o acesso a inovação tecnológica, que no caso do Brasil o acesso foi tardio, e por isso têm dificuldades em alcançar países que apresentam alto grau de inovação tecnologia, pois para se inovar é necessário um alto volume de investimentos em P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) e intangibilidade de ativos (Corder, 2004).

2. Referencial Teórico

2.1. Tecnologia e competitividade

O termo tecnologia começou a ser abordado no século XX, pelo economista Joseph Schumpeter (1988), e esse avaliava que a verdadeira competitividade entre concorrentes é baseada na busca por vantagens em relação ao custo, qualidade dos produtos, sendo dessa forma a inovação um aspecto fundamental pela busca da competitividade (KUPFER; HASENCLEVER, 2002).

Para o desenvolvimento de uma economia, tem-se de cumprir diversas condições, sendo uma das mais importantes a competitividade, e para que uma economia seja competitiva, a competitividade tem que ser alcançada no nível empresarial, industrial e econômico. A competitividade representa a capacidade de se obter uma produtividade alta com a utilização inovadora de recursos humanos, financeiros e materiais (Trascajmeno, 2015).

Um indicador capaz de representar a tecnologia, competitividade e o crescimento dos países estão relacionados ao âmbito industrial de cada país, relacionados a importações e exportações. Uma das maneiras de analisar a tecnologia de determinado país está relacionado a capacidade de um país criar estruturas e experiências de mercado em determinada indústria (Panucci *et al*, 2017). Outra maneira de se analisar a tecnologia, competitividade e inovação está relacionado a ciência e tecnologia, no investimento relacionado nessa área e também na quantidade de produção dessa área, que está referente a quantidade de artigos científicos produzidos (Negri *et al*, 2017)

2.2. Competitividade econômica

Em um contexto organizacional competitividade pode ser definida como o conjunto de políticas e fatores que determinam o nível de produtividade de uma instituição e por sua vez pode-se determinar o nível de prosperidade na qual pode-se alcançar (Schwab *et al.*, 2017). A fim de se medir a competitividade O Fórum Econômico Mundial (World Economic Fórum - WEF) foi criado em 1971 e é sediado na Suíça, com o intuito de promover melhorias das condições socioeconômicas da humanidade mediante a cooperação do setor público e privado (Carvalho *et al.*, 2017).

O Fórum Econômico Mundial realiza desde 2005 um relatório denominado de WEF na busca por quantificar por meio da produtividade obtida e recursos disponíveis a melhoria de uma organização (WEF, 2017). Dessa forma são utilizados como critérios para a avaliação da competitividade econômica prontidão tecnológica, na qual se refere a agilidade com que a instituição adota as tecnologias existentes visando a melhora de produtividade, sofisticação de negócios que aborda a qualidade das redes de negócios e a qualidade das estratégias de operações individuais das empresas e também o grau de inovação presente dentro de uma instituição, na qual pode ser medida pelo investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D).

A industrialização é capaz de alavancar o desenvolvimento de nações, sendo capaz de deixar um país mais ou menos competitivo de acordo com o tratamento industrial e seus investimentos realizados e também afetando diretamente em sua economia (Coelho, 2016). Um fator determinante na economia de uma nação é o PIB e tem relações diretas com o nível investimentos em P&D e também com o número de depósitos de patentes, em 2007 os três países que apresentaram maior PIB representaram cerca de 59% das patentes registradas naquele ano, além também de apresentarem os maiores investimentos em P&D, podendo ser utilizado como um indicador de competitividade econômica (Garrido, 2018).

2.3. Classificação de patentes

A Patente é um título de propriedade temporária sobre uma invenção ou modelo de utilidade, atribuídos pelo Estado em forma de documento aos seus inventores ou autores detentoras de direitos sobre a criação que apresenta uma invenção e cria uma situação jurídica na qual a invenção patenteada só pode normalmente ser explorada com a autorização do titular da patente (INSTITUTO, 2009).

Os documentos de patentes publicados pelos escritórios oficiais de patentes, em um campo específico da técnica e dentro de certo período de tempo, não somente refletem a atividade inventiva e a fonte de informação de novo conhecimento técnico em um país, mas também como transferência tecnológica que possibilitam a identificação de atividades industriais vindouras, indicando assim novas tendências tecnológicas e novos desenvolvimentos, muito antes que seus efeitos sejam sentidos no mercado (Scartassini *et al.*; 2018). Uma outra abordagem é estabelecer uma concordância confiável entre a tecnologia e as classificações de um setor específico, o procedimento para a previsão de patentes por indústria ou país é desenvolvido como um modelo estatístico para que o padrão erros das previsões pode ser estimado (Kortum; Eaton, 2006).

A base dados relacionada a patentes da Espacenet é uma base de dados referente ao Escritório Europeu de Patentes (EPO), no qual concede patentes aos países referentes ao tratado da Convenção de Munique, no qual representa mais de 90 países, contendo cerca de 65 milhões de patentes registradas e catalogadas, possuindo um amplo mecanismo de pesquisa no qual se pode filtrar utilizando até 10 palavras, e dentro do campo de aplicação a essa pesquisa, existem um total de 12 705 923 patentes catalogadas em relação ao termo de tecnologia, 2 462 943 de patentes relacionadas a eficiência da manufatura e subdivididos majoritariamente entre 18 países.

2.4. Manufatura

O termo manufatura está ligado a inicialmente na revolução industrial e com o passar do tempo foi-se desenvolvendo cada vez mais, uma evidência clássica do desenvolvimento da manufatura iniciou-se no Fordismo, onde se teve uma mudança na linha de montagem, permitindo assim uma evolução na maneira de se entregar um produto final ao consumidor (Benedito, 1986).

Dentro de uma empresa um dos fatores que influenciam em seu desempenho é a manufatura, e para se alcançar a competitividade e ter sucesso no mercado a indústria deve apresentar um sistema de manufatura eficiente. A partir de 1980 as empresas começaram a perceber a importância que a manufatura tem na competitividade e começaram a na implementação de técnicas de programas de melhorias como o *Just in time* e *Total Quality Management* (TQM) buscando sucesso ao longo prazo (Wagner, 2008).

A mudança de produção para os países em desenvolvimento, tanto de bens de baixo valor agregado e setores sofisticados, afetaram negativamente as grandes potências já consolidadas como os Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha e França e abriram espaços para novos países emergentes como China, Taiwan e Coreia do Sul (Pisano, 2015). Com isso devido a emergência de novos países os países desenvolvidos tiveram que investir em processos de inovações tecnológicas para o aumento da produtividade. Em países em desenvolvimento, é fundamental os investimentos em P&D para buscar melhorias no processo de manufatura (Arbix *et al.*; 2017).

2.5. Eficiência tecnológica

A análise da evolução da tecnologia explica a natureza da inovação e prevê os padrões de inovação direcionados para resolver problemas e satisfazer necessidades da sociedade. A tecnologia pode ser utilizada no setor industrial para melhorar as deficiências nas tecnologias existentes ou introduzir novas que permitem maximizar a eficiência de determinado processo. E em um ambiente competitivo de negócios, está se tornando impossível gerenciar efeitos adversos dos padrões de consumo e produção insustentáveis e ambientais. Isso requer a exploração de melhorias significativas no desempenho de recursos em toda a economia global (Rajput; Prakash, 2019)

As empresas investem em P & D para aumentar a probabilidade de inovações, o que leva a aumentos no processo de lucratividade subjacente que desaparecem com o tempo. As empresas produzem produtos com capital e mão de obra e, como tal, respondem a inovações bem-sucedidas com novos investimentos físicos. Assim, o modelo leva em conta tanto o impacto dos gastos em P & D na lucratividade quanto a interação entre gastos com P & D e investimento físico (Lach; Schankerman, 2018). Desta maneira a eficiência tecnológica de acordo com os gastos investidos em P & D e o retorno em novas patentes, novos produtos e novos métodos de processamento.

2.6. Data Envelopment Analysis (DEA)

O Data Envelopment Analysis (DEA) é uma técnica de programação matemática que busca analisar o desempenho, em termos de eficiência relativa, de diferentes unidades tomadoras de decisão (DMUs – Decision Making Units), a partir de um conjunto de inputs e outputs. As DMUs localizadas na fronteira de eficiência servirão de benchmark para as demais. A técnica do DEA foi desenvolvida inicialmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), com base nos princípios derivados do modelo de Farrell (1957). E foi introduzido pela primeira vez como uma ferramenta para medir a produtividade e eficiência das unidades decisórias (DMUs) (Charnes *et al.*, 1978). Isto tem sido amplamente aplicado para abordar a análise de decisão em diferentes setores (Paradi; Zhu, 2013), incluindo seleção de fornecedores na manufatura (Liu *et al.*, 2000).

São dois os principais modelos associado ao DEA o primeiro deles é o modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes 1978) que foi o primeiro a ser utilizado associado ao DEA, este modelo avalia o conjunto de inputs (inputs) e outputs (saída) e gera um resultado que será a eficiência dos inputs em relação aos outputs e essa escala varia de 0 a 1. Este modelo busca otimizar a relação insumo produto da DMU, atribuindo livremente pesos aos insumos e produtos com a restrição de que, com os mesmos pesos, todas as DMUs,

não apresentam esta relação maior que 1. Já o segundo modelo proposto é BCC que consegue devolver valores variados da escala ao passo que o modelo CRR só consegue devolver valores constantes de escala, dessa maneira é possível adicionar valores crescentes ou decrescentes a escala, e no Modelo BCC, os índices de eficiência, podem ser escolhidos diferentemente do modelo CRR (Peña, 2008).

3. Objetivos

O objetivo primário deste projeto é avaliar a eficiência tecnológica em manufatura industrial e sua competitividade. Os objetivos secundários são a verificação de diferentes modelos de avaliação da eficiência tecnológica, identificação dos modelos DEA para análise de eficiência e a aplicação de um modelo DEA para análise da eficiência tecnológica.

4. Métodos e Materiais

A natureza da pesquisa será de forma aplicada a fim de encontrar a solução para o problema sobre como quantificar a eficiência tecnológica relacionada ao ramo industrial de manufatura. A aplicação da pesquisa será realizada a partir da combinação de estudos exploratórios, a fim de auxiliar no conhecimento sobre o assunto, tendo como objetivo principal a descoberta sobre o assunto. E também descritivos, descrevendo uma realidade a partir de dados, a busca de dados envolvem a consulta da base de dados para analisar dados relacionados à manufatura, tecnologia, patentes e pesquisa e desenvolvimento. A abordagem da pesquisa será realizada de forma quantitativa a partir das buscas de dados em base de dados para se definir as variáveis do problema de pesquisa.

A pesquisa será realizada com base na metodologia de modelagem, e tal método consiste em analisar um problema real e transformar o problema real em um modelo matemático inteiramente em termos de equações lineares e dessa forma analisar o problema matemático e aplicar na indústria de manufatura.

A pesquisa tem o objetivo de quantificar a eficiência tecnológica e quais fatores estão mais relacionados a uma melhor eficiência tecnológica, desta forma o método de análise envoltória de dados foi escolhido para essa pesquisa, pois é uma maneira de se quantificar a eficiência tecnológica, utilizando de inputs e outputs para definir qual DMU apresenta uma melhor eficiência tecnológica e para a classificação das variáveis em input e outputs visam estabelecer uma análise de correlação sobre a eficiência tecnológica, realizada com a ferramenta de análise de dados do Excel para verificar quais inputs se correlacionam mais com a eficiência tecnológica.

O modelo utilizado será o modelo DEA BCC-O (orientação ao *output*), representando nas equações abaixo visando à maximização da eficiência tecnológica, inviabilizando que os baixos resultados fossem compensados com a diminuição dos inputs. Além da escolha do melhor modelo, para que todas as variáveis escolhidas fossem consideradas no cálculo da eficiência foi utilizada a restrição dos pesos para se determinar qual *input* e *output* impacta na eficiência tecnológica e competitividade.

Sendo:

- V_i : inputs;
- U_j : Outputs;
- X_{ik} : input i da k -ésima DMU;
- Y_{jk} : output j da k -ésima DMU;
- y_i : pesos dos inputs;
- x_j : pesos dos outputs;
- λ_k : vetor de que define a contribuição da DMU;

— Θ : Eficiência;

O método de multiplicadores (BCC) com a orientação relacionada ao output e apresenta as seguintes funções, sendo representada pela função objetivo (1).

$$\text{Min}\theta = \sum_{i=1}^j y_i V_i + y_i \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^i x_j U_j = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^i x_j Y_{jk} - \sum_{i=1}^j y_i X_{ik} + y_i \leq 0, \forall k \in \Theta \quad (3)$$

$$x_j, y_i \geq 0, \forall i, j \quad (4)$$

5. Resultados e Discussões

Inicialmente buscou-se na literatura, em artigos, publicações, revistas e livros os melhores parâmetros para buscar quantificar a eficiência tecnológica, de acordo com a literatura os parâmetros mais utilizados estão relacionados a classificação de patentes, competitividade econômica, que abrange análises financeiras e indicadores de desempenho econômicos, números sobre Pesquisa & Desenvolvimento e também índices que classificam países de acordo com inovação, competitividade e relacionado ao mercado do país.

Segundo Scartassini (2018) o número de patentes é capaz de refletir o desenvolvimento tecnológico de uma entidade e também afeta o seu desenvolvimento competitivo, com isso realizou-se a busca por uma base de dados que contenham dados sobre o número e classificação de patentes de acordo com cada país, a base de dados utilizada no projeto foi a base de dados da Espacenet. Em sua plataforma realizou-se uma busca de patentes referentes ao termo *technology* e com a utilização dos próprios filtros da plataforma selecionaram-se os 18 países que apresentam o maior número de patentes registradas referentes à tecnologia.

Segundo Garrido (2018) o PIB pode ser utilizado como um indicador de competitividade econômica, além de representar uma forte ligação com quantidade de patentes e investimento em P&D. De acordo com Coelho (2016) as indústrias têm uma grande influência na competitividade econômica de um país. E Glauco (2017) diz que a manufatura de um país influencia diretamente em sua competitividade e também na sua eficiência tecnológica, assim como a mão de obra de acordo com Kuhl (2013) apresenta um impacto relacionado a competitividade da nação.

Conforme Negri (2017) e Kuhl (2013) a mão de obra qualificada e também a produção de artigos científicos, impulsionam a competitividade e também alavancam a inovação tecnológica de uma nação, outro indicador utilizado para medir a competitividade a as inovações tecnológicas estão ligadas às exportações e na capacidade de um país criar novas estruturas de mercado de acordo com Panucci (2017).

Com a utilização da base de dados encontrado no Grupo Banco Mundial (World Bank Group) que apresenta 189 países como membros, com mais de 130 escritórios pelo mundo, em sua base de dados coletou-se dados referentes sobre aspectos econômicos, industriais, de manufatura, de inovação e P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) dos 18 países já selecionados de acordo com o número de patentes.

Selecionaram-se os dados e realizou-se uma análise de correlação e regressão entre todos os dados coletados, para que se tenha um valor numérico da relação entre os parâmetros e assim buscar os dados que apresentam uma maior correlação entre os *outputs* definidos e está apresentado em anexo, para se decidir quais serão os *inputs* do modelo, e na tabela 1 os *inputs* e *outputs* que apresentam as melhores correlações entre si, levando em considerações as pesquisas realizadas na literatura.

Tabela 1 - Maiores correlações entre todas as variáveis selecionadas

	Número de patentes Espacenet	Valor agregado em manufatura em 2018 (US\$)	Artigos científicos e técnicos	Exportação de alta tecnologia (US\$)	Pesquisas em P&D
Número de patentes Espacenet	1				
Valor agregado em manufatura em 2018 (US\$)	0,656981587	1			
Artigos científicos e técnicos	0,59631977	0,967015977	1		
Exportação de alta tecnologia (US\$)	0,57597452	0,898620811	0,805885001	1	
Pesquisas em P&D	0,589058639	0,965689057	0,976058126	0,812824959	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Levando em conta a análise de correlação dos *outputs* e dos demais dados em conjunto com estudos encontrados na literatura definiu-se os *inputs* que apresentam uma boa correlação com os *outputs*. Dessa forma definiu-se como os inputs do modelo valor agregado em manufatura em 2018 (US\$), artigos científicos e técnicos e pesquisas em P&D. Assim as variáveis para o modelo DEA definidas são:

- DMUs: Países que apresentam o maior número de patentes relacionadas ao termo “technology”;
- *Input 1*: Valor agregado em manufatura em 2018 (US\$);
- *Input 2*: Artigos científicos e técnicos;
- *Input 3* : Pesquisas em P&D;
- *Output 1* : Número de patentes Espacenet;
- *Output 2* : Exportação de alta tecnologia (US\$) em 2018;

Dessa forma montou-se uma tabela das para atender o formato necessário para a utilização do software MaXDEA, sendo representada pela tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Valores utilizados para aplicação do modelo DEA BCC-O (multiplicadores)

DMU	<i>Input 1</i>	<i>Input 2</i>	<i>Input 3</i>	<i>Output 1</i>	<i>Output 2</i>
País	Valor Agregado em manufatura (US\$)	Artigos Científicos e Técnicos	Pesquisas em P&D	Número de patentes	Exportações de alta tecnologia (US\$)
Nova Zelândia	18.778.600.000,00	7.889,00	18.624,00	15.116,00	607.000.000,00
Cingapura	75.809.300.000,00	11.459,00	36.295,00	25.986,00	155.000.000.000,00
Hong Kong, China	3.540.090.000,00	9.333,00	30.002,00	9.372.218,00	470.000.000,00
República da Coreia	440.941.000.000,00	66.376,00	385.091,00	1.103.008,00	193.000.000.000,00
Estados Unidos	2.173.320.000.000,00	422.808,00	1.370.973,00	3.670.866,00	156.000.000.000,00

Reino Unido	252.529.000.000,00	97.681,00	286.772,00	77.033,00	76.500.000.000,00
Noruega	25.611.300.000,00	11.803,00	34.241,00	17.082,00	4.290.000.000,00
Suécia	74.111.800.000,00	20.421,00	76.408,00	23.066,00	17.400.000.000,00
Austrália	82.821.500.000,00	53.610,00	99.857,00	304.337,00	5.270.000.000,00
Japão	1.007.330.000.000,00	98.793,00	672.489,00	2.663.582,00	111.000.000.000,00
Canadá	160.531.000.000,00	59.968,00	153.962,00	329.548,00	31.000.000.000,00
Rússia	203.988.000.000,00	81.579,00	407.701,00	255.700,00	10.200.000.000,00
Alemanha	805.458.000.000,00	104.396,00	413.535,00	110.106,00	210.000.000.000,00
Espanha	159.399.000.000,00	54.537,00	133.040,00	69.177,00	17.000.000.000,00
Brasil	180.542.000.000,00	60.148,00	179.989,00	35.511,00	11.100.000.000,00
África do Sul	43.293.000.000,00	13.009,00	27.654,00	15.145,00	2.240.000.000,00
França	269.584.000.000,00	66.352,00	297.581,00	12.862,00	118.000.000.000,00
China	4.002.750.000.000,00	528.263,00	1.698.032,00	9.626.508,00	654.000.000.000,00

Fonte: The World Bank DATA (2018); Espacenet Database

Com a utilização do software MaXDEA realizou-se a aplicação do modelo de multiplicadores BCC-O (orientação ao output) com o objetivo de maximizar o número de patentes e as exportações de alta tecnologia. E o resultado está apresentado na tabela 3 a seguir, apresentando valores de Score entre 0 e 1, ou seja, a variação ocorre de 0 a 100%. O escore 1 (100%) é atribuído para as DMU consideradas eficientes; as demais são ineficientes. O Benchmark (Lambda) representa as unidades referência para as organizações que não têm um desempenho eficiente. Isto é, fornecem um conjunto de unidades com modelos de desempenho com os quais a organização pode se comparar, com o objetivo de melhorar a sua performance.

Tabela 3 – Resultados da aplicação do modelo DEA BCC-O

DMU	Score	Rank	Benchmark (Lambda)
China	1	1	China(1,000000)
Hong Kong, China	1	1	Hong Kong, China (1,000000)
Nova Zelândia	1	1	Nova Zelândia (1,000000)
Cingapura	1	1	Cingapura (1,000000)
República da Coreia	0,97407905	5	China(0,093394); Hong Kong, China(0,022441); Cingapura (0,884165)
Alemanha	0,85806992	6	China (0,179830); Cingapura (0,820170)
França	0,65693098	7	China (0,049345); Cingapura (0,950655)
Japão	0,57974165	8	China(0,170280); Hong Kong, China(0,313888); Cingapura (0,515832)
Reino Unido	0,43109293	9	China (0,045002); Cingapura (0,954998)
Estados unidos	0,42388908	10	China(0,540909); Hong Kong, China(0,368167); Cingapura (0,090924)
Canadá	0,21278684	11	China(0,024117); Hong Kong, China(0,138152); Cingapura (0,837731)
Suécia	0,11494989	12	Hong Kong, China(0,023489); Cingapura (0,976511)
Espanha	0,1067524	13	China(0,022093); Hong Kong, China(0,043859); Cingapura (0,934047)
Noruega	0,09000527	14	Hong Kong, China(0,694597); Cingapura e(0,305403)
Rússia	0,07991683	15	China(0,038168); Hong Kong, China(0,300351); Cingapura (0,661480)
Brasil	0,06744561	16	China(0,027143); Hong Kong, China(0,025673); Cingapura (0,947185)
Austrália	0,06333496	17	China(0,010989); Hong Kong, China(0,500064); Cingapura (0,488947)
África do Sul	0,03171236	18	Hong Kong, China(0,089082); Nova Zelândia (0,457269); Cingapura (0,453648)

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os resultados obtidos a partir da aplicação do método DEA, as DMUs capazes de serem mais eficiente em traduzir os *inputs* : Valor agregado em manufatura em 2018 (US\$), Artigos científicos e técnicos e Pesquisas em P&D em *outputs* : Número de patentes Espacenet e Exportação de alta tecnologia (US\$) são as DMUs que apresentam os maiores valores de Score, e estão localizados na fronteira de eficiência, as DMU localizadas na fronteira são a China, Hong Kong (China), República da Coreia, Nova Zelândia e Cingapura, desbancando potências como Estados Unidos, Alemanha e França.

Realizando uma análise dos *Benchmarks* para se avaliar quais países são referências para os demais, na primeira rodada temos 4 países sendo referências para os demais, sendo eles a China, Hong Kong (China), Nova Zelândia e Cingapura. Esses países aparecem como referência por conseguirem traduzir de forma mais eficiente os *inputs* em *outputs*.

A China como uma das maiores economias mundial, apresenta um grande investimento relacionado ao setor de manufatura e em seu valor agregado, representando cerca de 27% de seu PIB, apresenta os maiores valores de jornais científicos e técnicos e também de pesquisas em P&D, porém analisando temos que a China apresenta somente 30% das exportações de manufatura relacionadas a produtos de alta tecnologia de acordo com o Grupo Banco Mundial , pela magnitude da economia chinesa, os números relacionados aos inputs são muito elevados, sendo semelhantes ao dos Estados Unidos, porém a China é mais eficiente em maximizar os inputs em outputs em relação aos Estados Unidos, por conta disso aparece com o benchmark principal para os Estados Unidos. A DMU Hong Kong (China) não se apresenta como referência majoritária a nenhum outro país, com exceção da Austrália que para se tornar eficiente, precisa se referenciar 50% em Hong Kong (China) e 49% em Cingapura, esse número de 50%, se deve ao fato de Hong kong apresentar uma alta taxa de exportações de alta tecnologia, representando cerca de 65% das exportações referentes a manufatura e a Austrália apresentar somente 17%.

A Nova Zelândia não apresentando números brutos elevados de outputs relacionados aos outros países tratados como Benchmarks, ela é capaz de ser eficiente mesmo uma menor quantidade de recursos e ainda sendo referência para a África do Sul, uma vez que apresenta o mesmo valor de patentes que a África do Sul, mesmo apresentando valores menores de inputs, dessa forma sendo mais eficiente em relação ao número de patentes.

E por fim temos Cingapura, que aparece como referência para a maioria das demais DMUs que não são tidas como referências o principal motivo para isso ocorrer é pela capacidade de Cingapura mesmo com os valores de inputs inferiores a maioria das principais potências e das maiorias das DMUs analisada, por exemplo, em relação ao Valor agregado em manufatura em 2018, Cingapura só não investe menos do que a África do Sul, Hong Kong (China), Nova Zelândia e Noruega nesse setor, em relação a Artigos científicos e técnicos, só não apresenta um número maior que Nova Zelândia e Hong Kong, e por fim analisando as pesquisas em P&D são superiores que na Nova Zelândia e a África do Sul e comparando com os outputs desejados vemos que a maior eficiência de Cingapura está relacionada às exportações de alta tecnologia, já que analisando os valores só fica atrás da China, República da Coreia, Estados Unidos e Alemanha, mostrando que mesmo com uma quantidade muito inferior de insumos é capaz de competir e maximizar muito o produto de exportações de alta tecnologia, por conta disso é tido como referência para a maioria das DMUs analisadas.

E por fim na tabela 4 estão representados os vetores de desempenho, no qual apresentam um diferente aspecto do desempenho proposto pelo Score, já que analisam se um vetor *input-output*, e a porcentagem do peso no qual cada *input* e *output* são

utilizados para a maximização do resultado dos Scores, sendo possível analisar qual *input* e *output* estão sendo utilizado em cada DMU.

Tabela 4 - Resultados da análise dos Vetores de desempenho

DMU	Peso do vetor Valor agregado em Manufatura	Peso do vetor Artigos Científicos e Técnicos	Peso do vetor Pesquisas em P&D	Peso do vetor Número de patentes	Peso do vetor Exportação de alta tecnologia
China	100	0,00%	0,00%	18,34%	81,66%
Hong Kong, China	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%
New Zealand	43,07%	0,00%	56,93%	0,00%	100,00%
Singapore	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Brasil	100,00%	0,00%	0,00%	4,66%	95,34%

Fonte: Elaborado pelo autor

Agora analisando o comportamento dos vetores de desempenho temos que o vetor que mais influência em pelo menos um dos produtos (*outputs*) para a maioria das DMUs é o valor agregado em manufatura, depois são os artigos científicos e técnicos e por fim as pesquisas em P&D. Analisando o comportamento dos pesos das DMUs que se encontram na fronteira da eficiência, temos que Cingapura apresenta uma forte relação entre o valor agregado em manufatura e as exportações de alta tecnologia, uma vez que para que Cingapura seja eficiente é somente necessária à utilização desse input. Hong Kong assim como Cingapura tem seu peso principal voltado ao input de valor agregado em manufatura, porém diferente de Cingapura esse input atua na maximização do número de patentes.

A Nova Zelândia apresenta valores distribuídos aos pesos dos inputs sendo utilizados 43% referente ao valor agregado em manufatura e 57% a Pesquisas em P&D, sendo utilizados para a maximização do output exportações de alta tecnologia e dessa maneira ficando sobre a fronteira de eficiência. A China assim como a maioria das DMUs apresenta um peso integral relacionado ao valor agregado em manufatura refletido em pesos de 18,34% para o número de patentes e 81,66% nas exportações de alta tecnologia para que atinja a melhor maneira para se localizar na fronteira de eficiência. A República da Coreia assim como a China apresenta um peso integral referente ao valor agregado em manufatura, sendo utilizados pesos de 8,02% para o output número de patentes e 91,98% para o output de exportações de alta tecnologia, para que se tenha a maior eficiência nessa DMU e assim ficando muito próxima da fronteira de eficiência.

Realizando um comparativo do Brasil com Cingapura, por ela ser considerada o principal país tido como referencia (*Benchmark*) para o Brasil atingir a fronteira da eficiência e conseguir traduzir os *inputs* em *outputs* e assim apresentar uma maior eficiência tecnológica e competitividade. O Brasil apresenta um valor inferior da porcentagem do PIB investido em valor agregado em manufatura, apresentando somente 9,78% do valor do PIB enquanto Singapura apresenta 20,74% do valor do seu PIB utilizado no valor agregado em manufatura, sendo esse de acordo com os vetores de desempenho o principal *input* para se maximizar as exportações de alta tecnologia e o número de patentes (The World Bank DATA ,2018). Outras maneiras do Brasil não conseguir uma maior eficiência está relacionado a baixa eficiência do governo, a dificuldade de se iniciar um negócio, devido a alta burocracia exigida, uma baixa porcentagem da população que apresenta um ensino de terceiro grau e ligado a ciência e engenharia , pouca facilidade de conseguir crédito, um alto valor de impostos e taxas, uma baixa flexibilidade no

mercado de trabalho e também uma baixa produtividade sendo esses os fatores positivos dos países que se encontram na fronteira da eficiência, para que se tenha uma maior competitividade e eficiência tecnológica, por conta desses diversos fatores o Brasil é ineficiente na tradução dos inputs em outputs.

6. Conclusões

A partir desse projeto foi possível avaliar a eficiência tecnológica e a competitividade dos países analisados em relação a sua manufatura industrial, assim como a identificação de diferentes maneiras de se avaliar a eficiência tecnológica e o melhor modelo DEA para análise da eficiência tecnológica. E também identificar qual o impacto da inovação e competitividade de cada país analisado dependendo de sua estrutura e qualidade tecnológica no ramo de manufatura.

Com a realização da pesquisa foi possível verificar quais são os países capazes de melhor traduzir o número de patentes e as exportações de alta tecnologia em termos de inovação e competitividade em escala global, os países que melhor conseguem fazer são Cingapura, Nova Zelândia e Hong Kong (China) e os motivos em comum desses países terem uma melhor eficiência em transformar os insumos em produtos, ambos esses países apresentam estabilidade política, eficiência do governo, uma boa educação superior, proteção de investidores minoritários, baixos impostos, facilidade de conseguir crédito, alto investimento interno e trabalharem com manufatura de alta tecnologia, portanto conclui-se que para um país aumentar sua eficiência tecnológica e competitividade, tem de se haver um ambiente político eficaz, investimentos no ramo de manufatura e alta tecnologia e também investimento em educação, principalmente no ensino superior.

Desta forma, concluiu-se que é viável calcular a eficiência da competitividade e eficiência tecnológica mediante ao uso da técnica de Análise Envoltória de Dados, confirmando-se que o uso da eficiência da tecnologia aumenta a competitividade dos países analisados.

Referências

Arbix, G; Salerno, M. S.; Zancul, E.; Amaral, G.; Lins, L. M. **O BRASIL E A NOVA ONDA DE MANUFATURA AVANÇADA: O que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos**. CEBRAP vol.36 no.3 São Paulo Sept./Nov. 2017

Benedito, R. M. N. Maquinaria, taylorismo e fordismo: a reinvenção da manufatura. **Revista de Administração de Empresas**, vol.26 no.4 São Paulo Oct./Dec. 1986

Carvalho, R. B.; Tadeu, H. F. B.; Burcharth, A. L. L. A.; Oliveira, C. A.. Panorama da inovação no Brasil: análise baseada na perspectiva da competitividade global. **Revista Gestão & Tecnologia**, 2017.

Charnes, A.; Cooper, W.W., Rhodes, E. Measuring the efficiency of decision making units. **Eur. J. Oper.** V.1, n. 6, p. 429–444, 1978.

CORDER, S.M. **Financiamento e incentivos ao sistema de ciência, tecnologia e inovação no Brasil: Quadro atual e perspectivas**. Campinas, 2004. Dissertação (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.

Farrell, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, Vol. 120, No. 3, 1957.

Garrido, E. C.; Sampaio, R. R.; Pessoa, F. L. P. **Competitividade Tecnológica entre Países: uma análise de dados de patentes na indústria petroquímica**. Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Patente. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br>> Acesso em 06 de março de 2020.

- Kortum, S.; Eaton, J. Innovation, Diffusion, and trade. National Bureau of Economic Research. Cambridge, July 2006.
- KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. **Economia industrial: fundamentos teóricos e práticas no Brasil**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.
- LACH, S.; SCHANKERMAN. Determinantes dos gastos em p&d no âmbito da OCDE: uma abordagem neoschumpeteriana. **Revista Tecnologia e Sociedade**, 2018.
- Liu, J., Ding, F., Lall, V. "Using data envelopment analysis to compare suppliers for supplier selection and performance improvement". **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 5, n. 3, p. 143-150, 2000.
- MENDONÇA, Maurício. Políticas públicas de inovação no Brasil: a agenda da indústria. **Revista Parcerias Estratégicas**, Brasília, n. 21, p. 5-32, dez. 2005.
- Negri, F.; Rauen, A.T.; Squeff, F. H. S. **Ciência, Inovação e Produtividade: Por uma nova geração de políticas públicas**. Universidade de São Paulo (USP), 2017.
- Panucci, L.F.; Tomelin, J.; Hein, N. INTENSIDADE TECNOLÓGICA E VOLUME DE EXPORTAÇÃO: UMA ANÁLISE DAS EMPRESAS EXPORTADORAS BRASILEIRAS". **Revista Capital Científico** Vol. 15 n.4 – Outubro/Dezembro, 2017.
- Paradi, J.C., Zhu, H. "A survey on bank branch efficiency and performance research with data envelopment analysis". **Omega, Elsevier**, v. 41(1), p. 61-79, 2013
- Peña, C. R. Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA). **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 1, n.1, 2008.
- Pisano, G. P. You Need an Innovation Strategy. **Harvard Business Review**, v. 93, n. 6, pp. 44-54, jun. 2015.
- Rajput, S. Prakash, S. S. Connecting circular economy and industry 4.0. **International Journal of Information Management**, 2019.
- Schwab, Klaus. **The Global Competitiveness Report**. World Economic Forum, 2017-2018.
- Scartassini, V. B.; Bochi, F.; Junior, R. F. G.; Moura, A. M. M. ESTUDO PATENTOMÉTRICO DAS PATENTES BRASILEIRAS NA VIA PATENT COOPERATION TREATY (PCT)". **ENANCIB**. Londrina, Paraná.2018.
- STEENSMA, H. K. Acquiring technological competencies through inter-organizational collaboration: na organizational learning perspective. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 12, p. 267-86, 1996.
- Trascajméno, D. L; Aceleanu, M. **Assessing the competitiveness of Romanian manufacturing industry**. International Institute for Social and Economics Sciences, 2015.
- Wagner, B. **A gestão da produtividade na manufatura como fator indutivo na formação de valor agregado de produtos e serviço: um exemplo de aplicações na indústria aeronáutica**. Bauru, Universidade Paulista (dissertação de mestrado), 2008.