

**CAMILA GALVÃO RAMOS**

**Análise Envoltória de Dados Combinada com a Lógica *Fuzzy* em Problemas de  
Avaliação de Eficiência de Máquinas de Consumo: Um estudo em Empresa do Segmento  
Farmacêutico**

Guaratinguetá  
2015

**CAMILA GALVÃO RAMOS**

**Análise Envoltória de Dados Combinada com a Lógica *Fuzzy* em Problemas de  
Avaliação de Eficiência de Máquinas de Consumo: Um estudo em Empresa do Segmento  
Farmacêutico**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof Dr Aneirson Francisco da Silva

Guaratinguetá  
2015

R175a

Ramos, Camila Galvão

Análise envoltória de dados combinada com a lógica fuzzy em problemas de avaliação de eficiência de máquinas de consumo : um estudo em empresa do segmento farmacêutico / Camila Galvão Ramos – Guaratinguetá, 2015.

66 f : il.

Bibliografia: f. 44 - 47

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

Orientador: Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva

1. Lógica difusa 2. Maquinas - Industria 3. Eficiência industrial I.

Título

CDU 510.6

**ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS COMBINADA COM A LÓGICA FUZZY EM  
PROBLEMAS DE AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE MÁQUINAS DE CONSUMO:  
UM ESTUDO EM EMPRESA DO SEGMENTO FARMACÊUTICO**

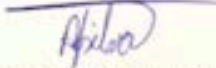
**CAMILA GALVÃO RAMOS**


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"GRADUADO EM ENGENHARIA DE MECÂNICA"

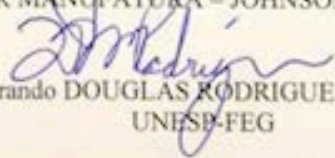
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. ANEIRSON FRANCISCO DA SILVA  
Orientador/UNESP-FEG

  
JULIANO VALÉRIO RESENDE DE MIRANDA  
SUPERVISOR MANUFATURA – JOHNSON & JOHNSON

  
Mestrando DOUGLAS RODRIGUES MIRANDA  
UNESP-FEG

## **DADOS CURRICULARES**

**Camila Galvão Ramos**

<b>NASCIMENTO</b>	30.01.1991 – GUARATINGUETÁ / SP
<b>FILIAÇÃO</b>	Luiz Antônio Ramos Sonia Regina Fernandes Galvão
<b>2010/2015</b>	Curso de Graduação Engenharia Mecânica - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Guaratinguetá

## *DEDICATÓRIA*

de modo especial, aos meus amigos que me acolheram em suas casas e me ajudaram a enfrentar esse último ano, longe da minha família.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a todos os amigos que levo comigo, que me apoiaram durante todo o curso e me incentivaram a escrever este trabalho.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva*, por acreditar na minha capacidade e habilidade, e me dar liberdade e apoio para desenvolver este estudo.

Aos meus pais, *Luiz Antônio e Sônia*, que sempre me incentivaram a ser melhor e apesar das dificuldades nunca deixaram de acreditar em meu potencial. E por terem a confiança de que posso alcançar todos os meus sonhos, mesmo quando eu perco a fé.

Ao meu irmão, *Luiz Felipe*, por ser meu exemplo de persistência e superação.

Aos funcionários da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

Aos funcionários da empresa estudada por fornecerem os dados utilizados e me passarem todo o conhecimento necessário para que o desenvolvimento deste estudo fosse possível.

À minha amiga, *Camila Abrahão*, por ter me acompanhado e incentivado durante o desenvolvimento deste trabalho.

“Se, a princípio, a ideia não é absurda, então não há  
esperança para ela”.  
*Albert Einstein*



RAMOS, C. G. **Análise Envoltória de Dados Combinada com a Lógica *Fuzzy* em Problemas de Avaliação de Eficiência de Máquinas de Consumo: Um estudo em Empresa do Segmento Farmacêutico.** 2015. 66 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

## RESUMO

A indústria farmacêutica foi consolidada no Brasil na década de 1930, e, desde então, tem se tornado cada vez mais competitiva. Sendo assim, a implantação do Sistema Toyota de Produção, que visa a produção enxuta, se tornou comum entre as empresas do ramo. O principal indicador utilizado para medir eficiência de máquinas é o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Este trabalho pretende aplicar o modelo *fuzzy* DEA-BCC para analisar a eficiência das linhas de produção de uma empresa farmacêutica do Vale do Paraíba, e comparar os valores obtidos pelo *fuzzy* DEA-BCC com aqueles calculados por meio do OEE. Deste modo, identificar as máquinas mais sensíveis a variação nos dados de entrada e desenvolver um *ranking* de eficiência entre as máquinas de consumo. Após o desenvolvimento, será mostrado que a relação de acuracidade entre os dois métodos é de aproximadamente 57% e a linha considerada mais eficiente pelo indicador OEE não é a mesma encontrada pelo modelo *fuzzy*-DEA.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência Global. OEE. DEA. Lógica *fuzzy*. Sistema Toyota de Produção.

**RAMOS, C. G. Data Envelopment Analysis combined with *fuzzy* Logic in issues with rating Consumption Machine Efficiency: A Study in the Pharmaceutical Company Segment.** 2015. 66 p. Graduate Work (Under Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, UNESP, Guaratinguetá, 2015.

### **ABSTRACT**

The pharmaceutical industry was consolidated in Brazil in the 1930s, and since then has become increasingly competitive. Therefore the implementation of the Toyota Production System, which aims to lean production, has become common among companies in the segment. The main efficiency indicator currently used is the *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). This paper intends to, using the fuzzy model DEA-BCC, analyze the efficiency of the production lines of a pharmaceutical company in the Paraíba Valley, compare the values obtained by the model with those calculated by the OEE, identify the most sensitive machines to variation in the data input and develop a ranking of effectiveness between the consumer machinery. After the development, it is shown that the accuracy of the relationship between the two methods is approximately 57% and the line considered the most effective by the Toyota Production System is not the same as the one found by this paper.

**KEYWORDS:** *Overall Equipment Effectiveness*. OEE. DEA. *fuzzy Logic*. Toyota Production System.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Cadeia Farmacêutica: Níveis de Capacitação.....	15
Figura 2- Evolução da Participação nas Vendas do Varejo Farmacêutico (%).....	15
Figura 3- Classificação das metodologias de pesquisa quantitativa.....	17
Figura 4- Casa do Sistema Toyota de Produção.....	19
Figure 5 - Funções de Pertinência para Conjuntos Clássicos.....	28
Figura 6 – Função de Pertinência para Conjunto <i>fuzzy</i> .....	29
Figura 7 – Processo de Modelagem.....	33
Figura 8 – Função de pertinência triangular para matriz de <i>input</i> .....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de <i>inputs</i> .....	44
Tabela 2 – Matriz de <i>outputs</i> .....	46
Tabela 3 – Resultados otimistas de eficiência modelagem <i>fuzzy</i> DEA-BCC.....	48
Tabela 4 – Resultados pessimistas de eficiência modelagem <i>fuzzy</i> DEA-BCC .....	50
Tabela 5 – Resultados otimistas de supereficiência modelagem <i>fuzzy</i> DEA-BCC .....	52
Tabela 6 – Resultados pessimistas de supereficiência modelagem <i>fuzzy</i> DEA-BCC .....	54
Tabela 7 – Eficiências e Supereficiências (Otimista/pessimista) para cada DMU.....	56
Tabela 8 – Comparação da Eficiência (modelo fuzzy DEA-BCC) com OEE.....	41
Tabela 9 – Ranking de máquina por Supereficiência.....	58
Tabela 10 – Ranking de máquinas por OEE.....	60
Tabela 11 – Valores alvos de Input para garantir eficiência.....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALANAC	Associação Laboratórios Farmacêuticos Nacionais
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DMU	<i>Decision Making Units</i>
GAMS	<i>General Algebraic Modeling System</i>
JIT	<i>Just-in-Time</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
STP	Sistema Toyota de Produção

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	14
1.2	DELIMITAÇÃO E QUESTÃO DA PESQUISA .....	16
1.3	OBJETIVOS .....	16
1.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
1.5	JUSTIFICATIVA .....	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
2.1	SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO .....	19
<b>2.1.1</b>	<b>INDICADORES DA PRODUÇÃO ENXUTA</b> .....	21
2.2	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS .....	24
2.3	LÓGICA DOS CONJUNTOS <i>FUZZY</i> .....	28
2.4	MODELOS DE <i>FUZZY</i> .....	29
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO E MODELAGEM</b> .....	32
3.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	32
3.2	MODELAGEM .....	32
3.3	OTIMIZAÇÃO DE <i>DEA-FUZZY</i> .....	37
3.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO PARA FUTURAS PESQUISAS</b> .....	42
4.1	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS .....	42
4.2	RECOMENDAÇÃO PRA FUTURAS PESQUISAS .....	43
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	47
	<b>APÊNDICE A</b> .....	48
	<b>APÊNDICE B</b> .....	50
	<b>APÊNDICE C</b> .....	52
	<b>APÊNDICE D</b> .....	54
	<b>APÊNDICE E</b> .....	56
	<b>APÊNDICE F</b> .....	58
	<b>APÊNDICE G</b> .....	60
	<b>APÊNDICE H</b> .....	62

<b>APÊNDICE I</b> .....	64
<b>APÊNDICE J</b> .....	66

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

A Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis*- DEA) é uma abordagem não paramétrica utilizada para avaliar a eficiência relativa das unidades de tomada de decisão (*Decision Making Units*- DMUs) que empregam diversos insumos para gerar múltiplas saídas (CHARNES *et al.*, 1998). Este método quantitativo é geralmente empregado presumindo que os dados de todas as entradas e saídas são conhecidos (COOPER *et al.* , 1999, COOPER *et al.*, 2001).

A avaliação da eficiência pelo modelo DEA exige dados de entrada e saída nítidos (precisos e confiáveis), porém dados reais são habitualmente imprecisos (KAO e LIU, 2000). Dados nítidos são encontrados na lógica de conjuntos clássica e podem ser representados por verdadeiro/falso {0 e 1} (YOUNG; GIACHETTI; RESS, 1996).

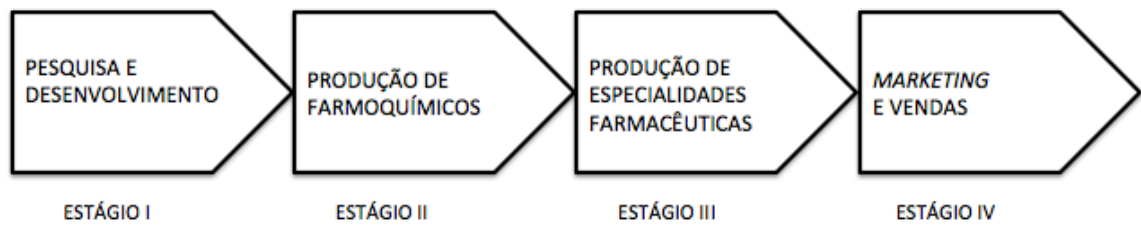
A lógica dos conjuntos *fuzzy*, desenvolvida por Zadeh (1964) a partir da lógica dos conjuntos *Fuzzy* (*Fuzzy sets*- FS), leva em consideração a imprecisão de quantidade da linguagem natural. Tal lógica é considerada não monótona, sendo assim, uma afirmação pode ser tanto verdadeira quanto falsa ou ainda, ambas podem não ser nem verdadeiras nem falsas (KLIR; FOLGER, 1998; LERTWORASIRIKUL *et al.*, 2003).

Neste contexto, é fundamental avaliar a eficiência de forma a contemplar as incertezas dos parâmetros de entrada e saída, visando a tomada de decisão mais realista e confiável. O presente trabalho fará uma aplicação em uma indústria farmacêutica, sendo que, segundo Palmeira (2003) essa indústria foi consolidada no Brasil na década de 1930, porém o capital nacional representava apenas 14% da produção brasileira de medicamentos e sua produção era dependente de importação de insumos. Com um desenvolvimento notável ao longo dos anos, a participação das empresas com capital de origem estrangeira na produção doméstica alcançou 35% em 1940 e 73% em 1960 (PALMEIRA FILHO; PAN, 2003).

Para gerenciar e avaliar tais indústrias foi criada em 1999 a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) que tem por objetivo elevar os padrões sanitários da produção nacional e as pré condições para possíveis incrementos das importações. A Agência realiza o controle sanitário da produção e comercialização de todos os produtos gerados pela indústria farmacêutica (PALMEIRA FILHO; PAN, 2003; ANVISA, 2012).



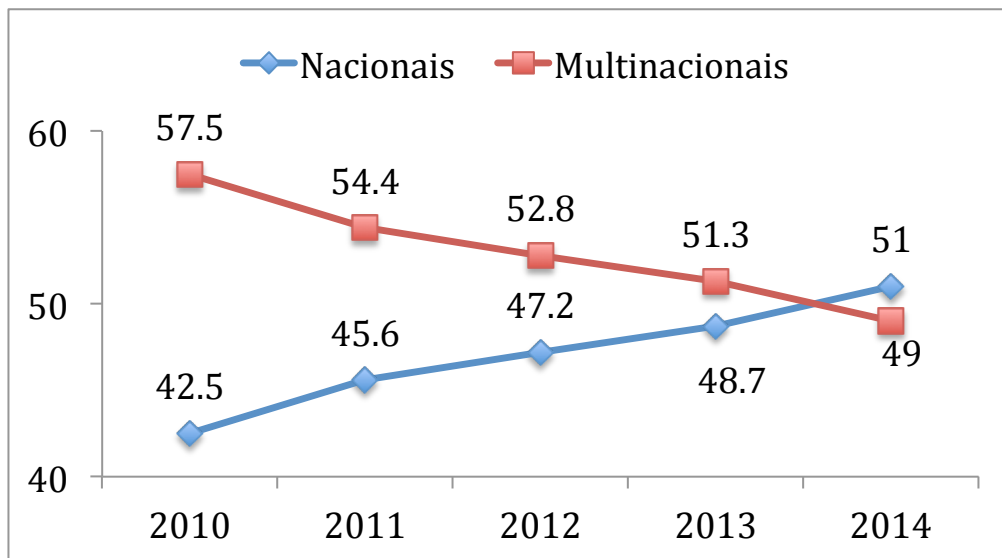
**Figura 1- Cadeia Farmacêutica: Níveis de Capacitação**



Fonte: Adaptado da Associação dos Laboratórios Farmacêuticos Nacionais (Alanac, 2014).

No ano de 2014 as indústrias de capital nacional superaram pela primeira vez, as multinacionais em faturamento. Como mostrado na Figura 2, no período entre janeiro e junho de 2014 as empresas brasileiras faturaram 51% das vendas totais, já as multinacionais registraram no mesmo período um faturamento referente à 49% do total (Associação dos Laboratórios Farmacêuticos Nacionais, 2014).

**Figura 2- Evolução da Participação nas Vendas do Varejo Farmacêutico (%).**



Fonte: Adaptado da Associação dos Laboratórios Farmacêuticos Nacionais (Alanac, 2014).

## 1.2 Delimitação e Questão da Pesquisa

Serão utilizadas funções de pertinência *Fuzzy* lineares (Triangular e Trapezoidal), visto que o modelo DEA que será utilizado é linear. A aplicação será feita em uma indústria farmacêutica, desta forma, não visa generalizar tal estudo para outras aplicações.

Como questão de pesquisa tem-se: a combinação da lógica dos conjuntos *fuzzy* com a DEA poderá auxiliar no suporte à decisão vinculada a avaliação da eficiência de máquinas de consumo em um contexto sob incerteza?

Há vantagens de se utilizar a *fuzzy* DEA em comparação ao OEE?

## 1.3 Objetivos

Avaliar a eficiência de máquinas de consumo por meio da Análise Envoltória de Dados combinada com a lógica dos conjuntos *fuzzy*.

Objetivos específicos:

- Comparar os resultados de eficiência gerados pelo modelo DEA-*Fuzzy* com os resultados reais oriundos do *Overall Equipment Effectiveness* ou *Eficiência Global* (OEE) de cada máquina.
- Identificar quais máquinas de consumo são mais sensíveis ao efeito da incerteza.
- Desenvolver um *ranking* de eficiência entre as máquinas de consumo.
- Desenvolver o modelo *Fuzzy Data Envelopment Analysis* (DEA- *Fuzzy*) por meio do *software* GAMS (*General Algebraic Modeling System*).

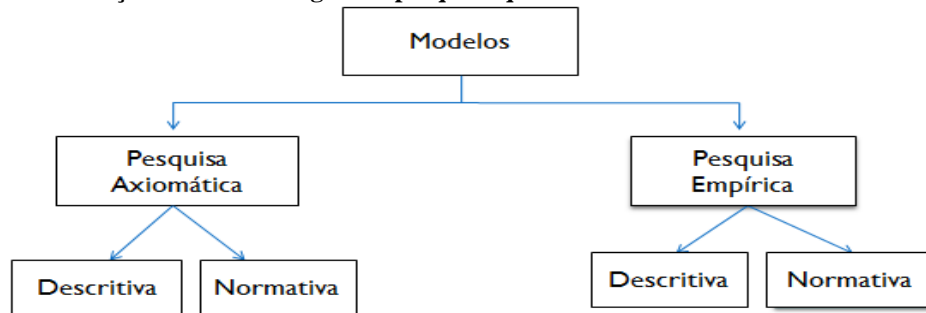
## 1.4 Materiais e Métodos

Considerando a classificação proposta por Bertrand e Fransoo (2002), essa pesquisa é uma pesquisa aplicada, pois proporciona contribuições para a literatura atual, tendo objetivo empírica normativa, pois o modelo visa compreender políticas e estratégias que possibilitem ações para melhorar uma situação vigente, por meio de modelos de otimização. Além disto,

pode-se classificar a forma de abordar o problema como quantitativa e o método de pesquisa como sendo a modelagem.

Este trabalho abordará o problema em questão de forma quantitativa, modelado conforme a Figura 3.

**Figura 3- Classificação das metodologias de pesquisa quantitativa.**



Fonte: Bertrand e Fransoo (2002)

## 1.5 Justificativa

As indústrias utilizam a filosofia da produção enxuta para calcular a eficiência de suas linhas de produção, porém não é possível saber se essas metodologias são as que melhor representam à realidade (SILVA *et al.*, 2014). A lógica dos conjuntos *fuzzy* possibilita modelar e manipular informações imprecisas resultantes da linguagem humana, para lidar com informações providas dos operadores das linhas de produção (SILVA *et al.*, 2015).

A DEA é uma técnica de decisão amplamente utilizada para a análise de desempenho no setor privado e público (SUEYOSHI, 2000; SILVA *et al.*, 2014). Sendo assim, este trabalho propõe desenvolver um método que mensure a eficiência de máquinas de consumo em um contexto sob incerteza.

Entre a grande variedade de indicadores de desempenho, este trabalho foca no *Overall Equipment Effectiveness* ou *Eficiência Global* (OEE), que é reconhecido como a forma mais rigorosa de monitoramento de um equipamento, sendo empregada na gestão industrial de grande propagação (BUSSO; MIYAKE, 2013). Infelizmente, apesar de sua utilização industrial generalizada, como mensurar objetivamente o OEE permanece uma questão em aberto, logo não existe um padrão universal (FRANCESCO, 2014).

O presente trabalho desenvolve uma forma alternativa de levar em conta as incertezas e flutuações de performances de fabricação. Descritores linguísticos *fuzzy* são apresentados na matriz de *input* e *output* modelos DEA. Deste modo, a lógica *fuzzy* permite a exploração de tolerância que existem na imprecisão, incerteza e acurácia parcial dos resultados adquiridos na pesquisa (DOROVIC *et al.*, 2012).

## **1.6 Estrutura do Trabalho**

A estrutura deste trabalho é composta de quatro capítulos. O primeiro capítulo, aborda as considerações iniciais, os objetivos, delimitação da pesquisa, material e métodos, justificativa e a estrutura do trabalho; O segundo capítulo exhibe a fundamentação teórica do modelo DEA-*Fuzzy*; O terceiro capítulo apresenta a descrição e modelagem do problema, a análise dos resultados e as considerações finais; o quarto capítulo traz conclusões e recomendações para futuras pesquisas, e por fim seguem as referências bibliográficas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Sistema Toyota de Produção

O sistema Toyota de Produção (STP), segundo Antunes *et al.* (2008), nasceu com a crise do Petróleo de 1973 que ocasionou recessão econômica mundial. O *Toyotismo* revolucionou o modo organizacional das grandes indústrias, introduziu uma nova forma de gestão da manufatura, estabeleceu métricas que quantificam a eficiência e velocidade de seu sistema e criou diversas novas ferramentas (WOMACK; JONES; ROSS, 1992).

A produção enxuta, como é conhecido o STP, está fundamentada sobre dois pilares: o *just-in-time* (JIT) e a automação (*Jikoda*).

Figura 4- Casa do Sistema Toyota de Produção



Fonte: Adaptado de Liker (2005)

De acordo com Shingo (1996), *just-in-time* significa “no momento certo” e tem por objetivo eliminar desperdícios e garantir o fluxo contínuo no chão de fábrica. Nesse pilar o foco está em entregar peças no momento em que as mesmas serão consumidas. Para isso a produção se baseia no *takt time* e segue um fluxo unitário (LIKER, 2005).

Pode-se atribuir o sucesso do *just-in-time* à três elementos: o *takt time*, a produção puxada e o fluxo contínuo (SIMOES, 2009).

a) **Takt Time:** *Takt time* é definido por Rother (2003) como o tempo necessário para que um produto ou componente seja produzido de acordo com a demanda do cliente. O *takt time* dita o ritmo de produção para que seja possível atender à demanda do cliente, de acordo com as restrições de capacidade da linha em questão (ALVAREZ; JUNIOR, 2001).

b) **Produção Puxada:** Um sistema de produção trabalha sobre a lógica de produção puxada quando cada etapa do processo produz somente quando o cliente ou o processo posterior solicita, dessa forma há o controle da produção entre fluxos (TUBINO, 1999).

Segundo Figueiredo (2010), a produção puxada concede maior autonomia aos operadores, pois os mesmos se tornam responsáveis pela programação diária das linhas de produção. Para Ohno (1997), é preciso garantir a eficácia da comunicação entre fluxos utilizando o cartão *kanban*.

O *kanban* é uma ferramenta do pilar *just-in-time* (JIT) que acompanha os fluxos de produção e garante que só irá haver produção naquele determinado posto de trabalho quando o mesmo receber o cartão (CHAN, 2011).

c) **Fluxo Contínuo:** Para Womack e Jones (2004), o fluxo contínuo tem por objetivo atender de forma eficiente a demanda evitando a superprodução.

O fluxo contínuo é caracterizado por permitir que o processo produtivo não sofra interrupções, assim evitando esperas, formação de estoques e reduzindo o transporte (SAIA, 2009).

O segundo pilar, automação, ou *jidoka*, separa o homem da máquina, assim permitindo que o operador atue em mais de uma ao mesmo tempo e tenha autonomia de parar a máquina sempre que ocorrer um defeito (SLACK *et al.*, 1996).

d) **Separação Homem Máquina:** Para implementar o *jidoka* é imprescindível a separação entre homem e máquina, pois o conceito visa delegar a responsabilidade

de detecção de anormalidade à máquina e a de solução ao homem (GHINATO, 2000).

- e) **POKA YOKE:** Segundo Pascal (2008), *Poka* significa erro inadvertido e *yoke* significa prevenção, logo a implementação de dispositivos de baixo custo e a prova de falhas que são capazes de identificar anormalidades antes das mesmas ocorrerem é conhecido como *poka-yoke*.

Tais dispositivos são considerados um método de detecção de defeitos e são utilizados em função de inspeção (SHINGO, 1996).

### 2.1.1 Indicadores da Produção Enxuta

O Sistema Toyota de Produção possui indicadores que são classificados de diversas maneiras por inúmeros autores. A proposta de Maskell e Baggaley (2003) separa os indicadores em três categorias: indicadores de células, indicadores de fluxo e indicadores para toda a empresa.

Indicadores de fluxo tem por objetivo mostrar a eficiência por fluxo de valor, e assim, incentivar a busca pela melhoria contínua do mesmo (MASKELL; BAGGALEY, 2003). Os indicadores da empresa enxuta são derivados dos indicadores de célula e fluxo, e tem por objetivo aumentar vendas, criar cultura de melhoria contínua e melhorar o fluxo de caixa da empresa (MASKELL; BAGGALEY, 2003).

Os indicadores de célula tem a vantagem de serem desenvolvidos de acordo com a necessidade da empresa, pois os dados podem ser coletados de forma visual pelo próprio operador (MASKELL; BAGGALEY, 2003).

#### ***Day-by-the-Hour:***

Fundamental para a medição do desempenho do sistema *Lean*, este indicador acompanha o sucesso da célula ao atingir seu objetivo do *takt time*. As informações são apontadas em um quadro branco pelo operador da célula e mostra a quantidade de produção necessária para suprir o *takt time* do cliente (MASKELL; BAGGALEY; GRASSO, 2012).

***First-Time-Through (FTT):***

O objetivo da medição do *First-Time-Through* é monitorar se a célula está produzindo peças conformes na primeira vez. Apesar de ser visto como um indicador de qualidade, ele mede a eficácia do trabalho padronizado da célula. O relatório FTT de uma célula mostra a porcentagem de produto feito na célula sem qualquer necessidade de retrabalho, reparo ou sucata (MASKELL; BAGGALEY; GRASSO, 2012).

Segundo Maskell, Baggaley e Grasso (2012), o FTT pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$FTT = (\text{Unidades Processadas} - \text{Unidades Rejeitadas}) / (\text{Unidades Processadas}) \quad (1)$$

A porcentagem do FTT pode ser calculada para mais de uma estação de trabalho dentro de uma mesma célula, sendo assim, a eficiência da célula é medida pelo produto das porcentagens de cada um de seus módulos (MASKELL; BAGGALEY; GRASSO, 2012).

***WIP-to-SWIP:***

Segundo Maskell e Baggaley (2003), tanto WIP, *work-in-progress*, quanto SWIP, *standard work-in-progress*, são indicadores de estoque. Mede-se *WIP-to-SWIP*, pois o mesmo acompanha o sucesso do sistema puxado. Se o inventário real no interior da célula é sempre o mesmo que o padrão WIP concebido para a célula, então o sistema puxado está funcionando corretamente. Se o inventário for superior ou muito inferior ao determinado o sistema de puxado está falho (MASKELL; BAGGALEY; GRASSO, 2012).

O WIP-a-SWIP é calculado dividindo-se a quantidade de inventário no interior da célula por quantidade de inventário WIP padrão, como indicado na equação (2):

$$\text{WIP-to-SWIP} = (\text{Estoques real na célula}) / (\text{Estoques planejados na célula}) \quad (2)$$



### ***Overall Equipment Effectiveness (OEE):***

O *Overall Equipment Effectiveness* (ou Eficiência Global) se tornou o índice mais utilizado para medição de produtividade industrial e segundo Zammori (2014) é reconhecido como a forma mais rigorosa de se monitorar o desempenho real de um equipamento. Para Muchiri e Pintelon (2008), o OEE é uma medida do desempenho total de uma célula, isto é, o grau no qual o equipamento está fazendo o que é suposto fazer. Segundo Maskell e Banggaley (2003), para se obter o valor de eficiência da uma linha de produção utilizando esse índice, é preciso conhecer seus três indicadores:

A disponibilidade indica quanto a máquina está disponível para realizar a atividade planejada e pode ser calculada pela equação (3):

$$\text{Disponibilidade} = (\text{Tempo disponível} - \text{Tempo parado}) / (\text{Tempo disponível}) \quad (3)$$

O desempenho indica quanto tempo é realmente gasto na produção de um produto, comparado com o tempo julgado necessário pela engenharia e pode ser calculada pela equação (4):

$$\text{Desempenho} = (\text{Tempo de Ciclo} \times \text{Total de Itens}) / \text{Tempo de Operação} \quad (4)$$

Já a qualidade indica qual a qualidade do material que está sendo produzido em uma determinada máquina e pode ser calculada utilizando o FTT já apresentada pela equação (1).

Como apresentado por Maskell, Banggaley e Grasso (2012) o *Overall Equipment Effectiveness* pode ser representado pela equação (5):

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade} \quad (5)$$

Para ser considerado eficiente, uma linha de produção deve obter 85% ou mais de OEE.

## 2.2 Análise Envoltória de Dados (DEA)

Avaliar a eficiência de um célula ou linha de produção é considerada um tarefa complexa, pois conta com inúmeras variáveis tanto de entrada como de saída. Sendo assim, o método conhecido como Análise Envoltória de Dados (DEA) tem sido globalmente aplicado em análises de performance em diversos setores (SUEYOSHI, 2000). Tal método quantitativo foi desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) baseado no conceito de eficiência de Farrell (1957).

Segundo Soares de Mello *et al.* (2005), a DEA é uma técnica que tem como principal objetivo comparar suas unidades de tomada de decisão, também conhecidas como *decision-making units* (DMU's), as quais são classificadas com recursos consumidos (*inputs*) e saídas produzidas (*outputs*). Comparando suas entradas e saídas é possível determinar a *fronteira de eficiência* e é possível determinar o grau de eficiência de uma DMU, quanto mais próxima da fronteira maior sua eficiência (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978).

A eficiência pode ser simplesmente definida como a razão entre saída (*output*) e entrada (*input*), sendo que, maior produção por unidade de insumo reflete em maior eficiência. Se o maior rendimento possível por unidade de entrada é conseguida, um estado de eficiência absoluta ou ótima foi alcançada, logo não é possível tornar-se mais eficiente sem aplicação de novas tecnologias ou outras variações no processo de produção (SHERMAN; ZHU, 2006).

Existem inúmeras maneiras nas quais as fronteiras de eficiência podem ser determinadas, entre elas, as mais conhecidas são os modelos CCR (*Constant Returns to Scale - CRS*) originalmente proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e BCC (*Variable Returns to Scale - VRS*) proposto logo em seguida por Banker, Charnes e Cooper (1984).

O modelo CCR é a modelagem inicial da DEA por ser o primeiro a ser desenvolvido, o mesmo supõe que variações que ocorrem na entrada geram variações proporcionais na saída (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). O modelo BCC considera, retorno variável de escala, sendo essa a única diferença apresentada entre os dois modelos (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984).

Para Cortez *et al.* (2013), a diferença entre os modelos se encontra no fato de que o CCR considera a escala de produção durante a avaliação do desempenho, já o BCC avalia cada DMU dentro de sua respectiva escala.

Para o modelo DEA CCR temos as seguintes equações:

$$\max \quad wo = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}} \quad (6)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (8)$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

Considerando a análise da DMU<sub>0</sub>, temos que:  $wo$  é o valor ótimo da eficiência da DMU<sub>0</sub>;  $y_{rj}$  é o valor da  $r$ -ésima saída para a  $j$ -ésima DMU;  $x_{ij}$  é o valor da  $i$ -ésima entrada para a  $j$ -ésima DMU;  $u_r$  é a variável de decisão associada à  $r$ -ésima saída;  $v_i$  é a variável de decisão associada à  $i$ -ésima entrada;  $y_{r0}$  e  $x_{i0}$  são, respectivamente, o valor da  $r$ -ésima saída e  $i$ -ésima entrada para a DMU<sub>0</sub>;

A formulação (6) – (9) é não linear, sendo um caso particular porém o modelo pode ser linearizado resultando nas equações (10) – (14), mais conhecidas por modelo dos multiplicadores:

$$\text{Max } wo = \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} \quad (10)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \sum_{i=1}^m v_i X_{i0} = 1 \quad (11)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (13)$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

A partir das equações (10) – (14) foi proposto por Banker, Charnes e Cooper (1984), o modelo DEA BCC apresentado a seguir:

$$\text{Max } wo = \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} + c_0 \quad (15)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^m v_i X_{i0} = 1 \quad (16)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + c_0 \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (18)$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

$$c_0 \text{ irrestrita} \quad (20)$$

A partir do modelo primal, mostrado anteriormente, é possível desenvolver o modelo dual, mais conhecido por Modelo Envelope, que por meio do teorema da dualidade forte, apresenta o mesmo valor ótimo para a função objetivo, quando o mesmo existir.

O Modelo Envelope tem por objetivo encontrar os valores de  $\lambda_k$ , contribuição da DMU  $k$  na formação do alvo da DMU 0, que minimizem  $h_0$ .

Para o modelo CCR, as seguintes equações representam o modelo dual (Envelope).

*Minimização de Inputs:*

$$\text{Min } h_0 \quad (21)$$

sujeito à :

$$h_0 x_{i0} \geq \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \quad \forall i \quad (22)$$

$$y_{j0} \leq \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k, \quad \forall j, \quad (23)$$

$$\lambda_k \geq 0, \quad \forall k. \quad (24)$$

*Maximização de Outputs:*

$$\text{Max } h_0 \quad (25)$$

sujeito à :

$$x_{i0} \geq \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \quad \forall i \quad (26)$$

$$h_0 y_{j0} \leq \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k, \quad \forall j, \quad (27)$$

$$\lambda_k \geq 0, \quad \forall k. \quad (28)$$

Para o modelo BCC, as seguintes equações representam o modelo dual (Envelope).

*Minimização de Inputs:*

$$\text{Min } h_0 \quad (29)$$

*sujeito à :*

$$h_0 x_{i0} \geq \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \quad \forall i \quad (30)$$

$$y_{j0} \leq \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k, \quad \forall j, \quad (31)$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1, \quad (32)$$

$$\lambda_k \geq 0, \quad \forall k. \quad (33)$$

*Maximização de Outputs:*

$$\text{Max } h_0 \quad (34)$$

*sujeito à :*

$$x_{i0} \geq \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \quad \forall i \quad (35)$$

$$h_0 y_{j0} \leq \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k, \quad \forall j, \quad (36)$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1, \quad (37)$$

$$\lambda_k \geq 0, \quad \forall k. \quad (38)$$

Como foi citado anteriormente, a principal diferença entre os modelos DEA BCC e CCR é a variável  $c_0$  conhecido por fator de escala, sendo que, essa variável contempla os retornos variáveis de escala. As DMU's determinadas como as mais eficientes no modelo BCC são as mesmas encontradas no modelo CCR, porém não há garantia de que o contrário seja verdade (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984).

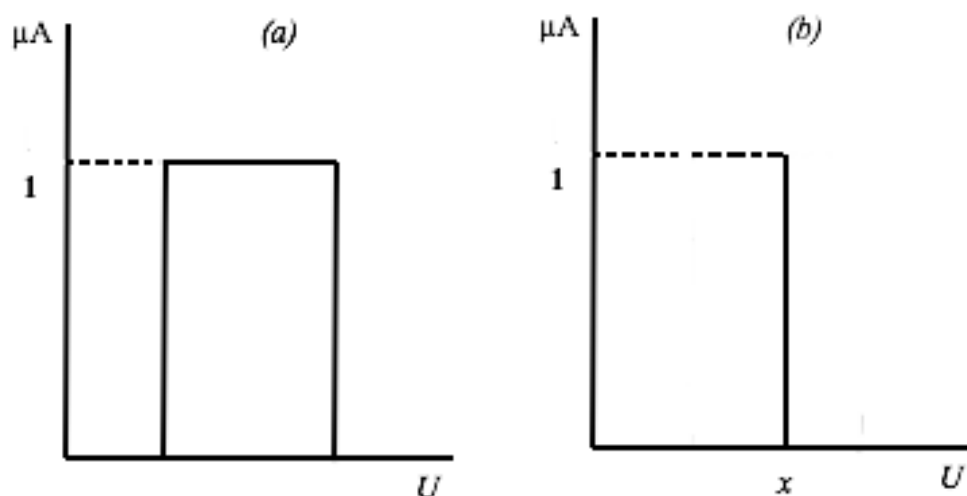
### 2.3 Lógica dos Conjuntos *Fuzzy*

A teoria dos conjuntos *fuzzy* foi desenvolvida para lidar com o conceito de verdade parcial de valores, que variam de absolutamente verdadeiro para absolutamente falso. Tal lógica se tornou uma ferramenta para manipular dados imprecisos encontrados em situações do mundo real (ZADEH, 1975).

A Lógica dos Conjuntos *Fuzzy* é considerada muito versátil, pois é capaz de modelar e manipular matematicamente informações imprecisas, variáveis linguísticas e situações complexas (AMENDOLA; BARROS; SOUZA, 2005). Segundo Lee (1990), a modelagem e controle *fuzzy* são técnicas utilizadas para manipular dados qualitativos e analisam a forma como a não exatidão e incerteza são descritas.

A teoria do conjuntos clássica julga os dados como pertencente ou não à um dado conjunto. Sendo assim, em um dado universo  $U$ , um elemento  $x \in U$  que possui grau de pertinência  $\mu_A(x)$  tem sua função característica clássica determinada por:  $\mu_A(x) : U \rightarrow \{0,1\}$ . Os valores dentro de um determinado erro percentual terão fator de pertinência 1, para os demais valores o fator será 0 (Figura 5a). Já no caso de dado preciso, o fator de pertinência assumirá valor 1 apenas no número exato, os demais valores o fator será 0 (Figura 5b).

Figure 5 - Funções de Pertinência para Conjuntos Clássicos

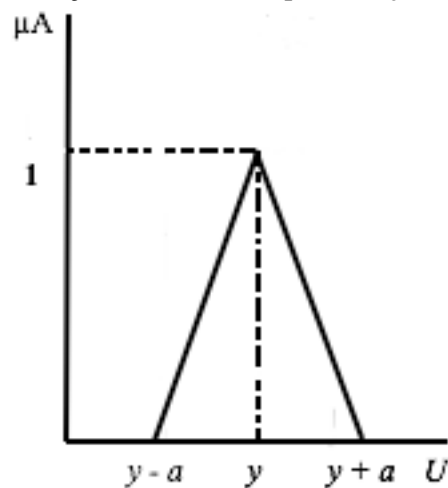


Fonte: Adaptado de Zadeh (1995)

A caracterização dos conjuntos proposta com Zadeh (1995), propõe que certos elementos são mais pertencentes a um conjunto do que outros. Dessa forma, o fator de pertinência pode assumir valores entre 0 e 1, onde 0 indica completa exclusão do conjunto e 1 completa pertinência.

A Figura 6 representa o fator de pertinência para valores de um conjunto *fuzzy*, sendo  $y$  é o valor nítido do número *fuzzy*. Como proposto por Zadeh (1964), os valores próximos a  $y$  pertencem ao conjunto, mesmo que parcialmente, e são representados por  $(y - a, y + a)$  e possuem variados valores de fator de pertinência. Porém, com grau de pertinência dos valores fora deste conjunto é 0.

Figura 6 – Função de Pertinência para Conjunto *fuzzy*



Fonte: Adaptado de Zadeh (1995)

A lógica dos conjuntos *fuzzy* tem sido aplicada com sucesso em diferentes áreas, tais como: refinarias, processos biológicos e químicos, sistemas de ventilação e usinas nucleares, ou seja, áreas em que é imprescindível manipular dados incertos (BITTENCOURT; OSÓRIO, 2002).

## 2.4 Modelos DEA *Fuzzy*

Sengupta (1992) propôs explorar a utilização de medidas e problemas matemáticos *fuzzy* em modelos DEA, onde o conjunto de dados analisados proporciona conhecimento vago e impreciso sobre o processo de geração.

Três tipos de estatística *fuzzy* podem ser usadas para explicar os tipos de decisões e soluções que podem ser atingidas em um modelo de dados vagos e informações imprecisas e incertas, são elas: programação matemática *fuzzy*, regressão *fuzzy* e entropia *fuzzy* (SENGUPTA, 1992).

As abordagens da lógica *Fuzzy* em DEA foram classificadas, segundo Hatami-Marbini, Emrouznejad e Tavana (2011), em quatro categorias: a abordagem da tolerância, a abordagem de nível alfa ( $\alpha$ ), a abordagem de classificação *Fuzzy* e a abordagem possibilística. Neste trabalho, adotou-se a abordagem de nível alfa por ser considerada a mais utilizada em modelos *fuzzy* DEA (HATAMI-MARBINI *et al.*, 2011)

Kao e Liu (2000) transformaram o modelo *fuzzy* em um conjunto de modelos DEA convencionais que são baseados em dados exatos, podendo assim medir a eficácia de DMU's que possuem variáveis nebulosas. Utilizando o princípio de extensão de Zadeh (1965), desenvolveram um modelo capaz de exprimir as medidas de eficácia utilizando funções de pertinência *Fuzzy* (KAO; LIU, 2000).

Tal formulação é dada pelas seguintes expressões:

$$\tilde{E}_j = \max \sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{r0} + c_0 \quad (39)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{i0} = 1 \quad (40)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ij} + c_0 \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (41)$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (42)$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (43)$$

$$c_0 \text{ irrestrita} \quad (44)$$



Na expressão apresentada anteriormente,  $\tilde{E}_j$  representa a eficiência *fuzzy* da  $j$ -ésima DMU,  $\tilde{X}_{ij}$  é o  $i$ -ésimo *input fuzzy* da  $j$ -ésima DMU e  $\tilde{Y}_{rj}$  é o  $r$ -ésimo *output fuzzy* da  $j$ -ésima DMU.

A abordagem de nível  $\alpha$  é possivelmente uma das mais utilizadas quando falamos da aplicação da teoria dos conjuntos *fuzzy* em DEA. O principal conceito empregado revolve na ideia de converter o modelo DEA *Fuzzy* em dois programas paramétricos, com o objetivo de encontrar os limites superior e inferior do nível  $\alpha$  das funções de pertinência (HATAMI-MARBINI; EMROUZNEJAD; TAVANA, 2011).

Sendo  $\alpha \in [0, 1]$ , é possível executar o modelo diversas vezes variando o nível  $\alpha$ , obtendo dois modelos, sendo um modelo pessimistas e outro modelo otimistas. Este trabalho propõe trabalhar com o modelo DEA BCC *Fuzzy* variando o nível  $\alpha$  para obter o melhor resultado possível.

Assumindo que as funções de pertinência  $\mu_{\tilde{X}_{ij}}$  e  $\mu_{\tilde{Y}_{rj}}$  determinam os números *Fuzzy* das variáveis  $\tilde{X}_{ij}$  e  $\tilde{Y}_{rj}$  das equações (21) - (26) respectivamente, é possível construir os cenários  $S(\tilde{X}_{ij})$  e  $S(\tilde{Y}_{rj})$  apenas variando os níveis  $\alpha$  (KAO; LIU, 2000):

$$(X_{ij})_{\alpha} = \{x_{ij} \in S(\tilde{X}_{ij}) \mid \mu_{\tilde{X}_{ij}}(x_{ij}) \geq \alpha\}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (45)$$

$$(Y_{rj})_{\alpha} = \{y_{rj} \in S(\tilde{Y}_{rj}) \mid \mu_{\tilde{Y}_{rj}}(y_{rj}) \geq \alpha\}, \quad r = 1, 2, \dots, s, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (46)$$

Note que  $(X_{ij})_{\alpha}$  e  $(Y_{rj})_{\alpha}$  são conjuntos nítidos. Dessa forma, usando diferentes níveis  $\alpha$ , as entradas e saídas podem ser representadas por diversos níveis de intervalo de confiança. O modelo *fuzzy* DEA é transformado em um modelo com níveis de incerteza  $\{(X_{ij})_{\alpha} \mid 0 < \alpha \leq 1\}$  e  $\{(Y_{rj})_{\alpha} \mid 0 < \alpha \leq 1\}$ , que representam a variação dos *inputs* e *outputs* das DMU's (KAO; LIU, 2000).

### 3 DESCRIÇÃO E MODELAGEM

#### 3.1 Descrição do Problema

Este trabalho tem como base uma multinacional de grande porte, com cadeia produtiva de grande relevância onde há um amplo campo para a aplicação de ferramentas da Engenharia de Produção. Mais especificamente os métodos matemáticos da PO, os quais auxiliam nas análises de eficiência e otimização. Esta área de pesquisa ainda é escassa em publicações quando comparada com a aplicação de PO na indústria de transformação. Cortez *et al.* (2013) introduz de forma superficial as principais contribuições da análise de eficiência de portos.

Neste trabalho foi utilizado a teoria dos conjuntos *fuzzy*, pois foi identificado, durante a análise do processo e coleta de dados, que existe imprecisão dos valores fornecidos pelos operadores das linhas. Ao fim do turno há a necessidade de introduzir os valores referentes a cada indicador do sistema produtivo no sistema, porém como o procedimento é realizado manualmente há um grande índice de erro.

Não obstante, dados baseados em tempo são em sua maioria estimados pois cabe ao operador identificar o início e o fim de cada ocorrência. Além disso, os indicadores de unidades produzidas e perdas são baseados em um fator de conversão aproximado, desenvolvido para transformar peso (quilos) para unidades de produtos.

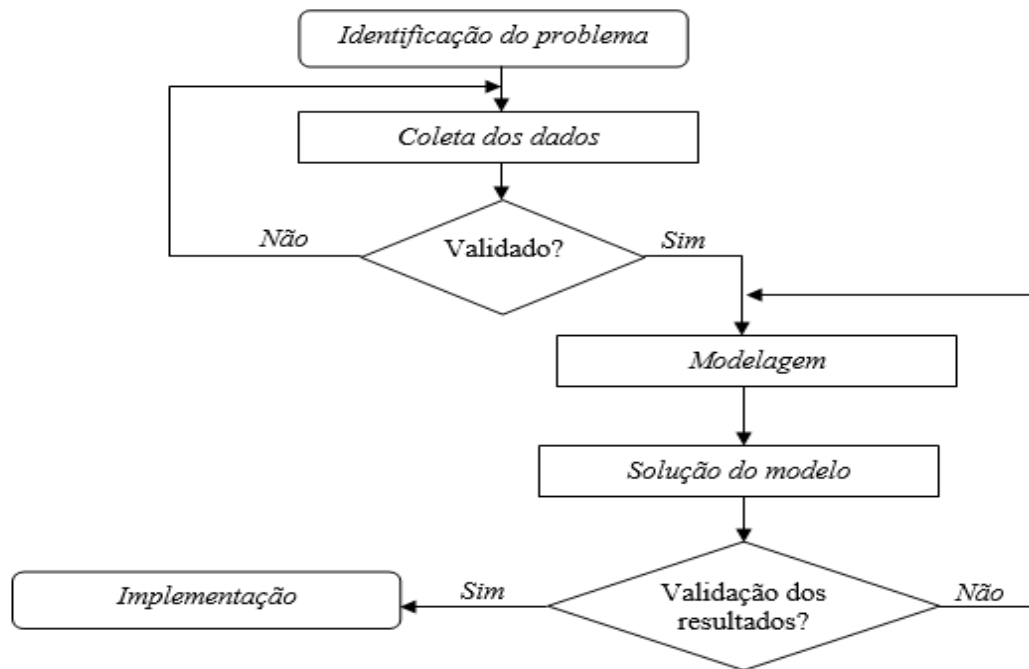
#### 3.2 Modelagem

A gestão dos sistemas produtivos na Engenharia de Produção geralmente remete à resolução de cenários complexos, e é necessário que a liderança da manufatura tome decisões difíceis que visam a melhoria do processo produtivo. Quando situações de grande porte precisam ser superadas, o uso de *modelagem* auxíla na compreensão do cenário, tornando-o mais claro (MIGUEL *et al.*, 2010)

A modelagem pode ser vista como a etapa da pesquisa na qual define-se as variáveis determinantes e as relações matemáticas que descrevem o sistema estudado (SILVA; MARINS; MONTEVECHI, 2013).

Neste trabalho foi aplicado o modelo *fuzzy* DEA-BCC para os cenários otimistas e pessimistas com o intuito de medir e comparar a eficiência de 70 linhas de produção em uma indústria farmacêutica do vale do paraíba. A Figura 7 ilustra as fases da pesquisa realizada.

**Figura 7 – Processo de Modelagem**



Fonte: Adaptado de Silva, Marins e Montevechi (2013)

**Etapa (a) – Identificação do problema** – O problema consiste em qual o melhor método para avaliar a eficiência de 70 linhas de produção em uma indústria farmacêutica no vale do paraíba.

**Etapa (b) - Coleta dos dados** – Os dados analisados representam o período de uma semana de acompanhamento das 25 linhas produtivas da indústria em questão. Foi utilizado o modelo *fuzzy* DEA BCC para modelar o problema. Utilizaram-se como entradas as seguintes variáveis:

*Inputs:*

- **Parada Programada:** Essa variável (*input* 01) indica o tempo, em minutos, em que a máquina está programada para não rodar durante o turno.

- **Downtime:** Essa variável (*input* 02) indica o tempo, em minutos, em que a máquina ficou parada durante o turno por ocorrência com duração maior à 3 minutos.
- **Pequenas Paradas:** Essa variável (*input* 03) indica o número de ocorrências, com duração inferior à 3 minutos, em que a máquina ficou parada durante o turno.
- **Perda:** Essa variável (*input* 04) indica a quantidade de produto que foi desperdiçado durante o processo de fabricação.
- **Velocidade Média Nominal:** Essa variável (*input* 05) indica a quantidade média de produto produzido em uma linha de produção por minuto.

*Outputs:*

- **Produtos Bons:** Essa variável (*output* 01) indica a quantidade de produtos bons produzidos na linha de produção no período escolhido (1 semana).
- **Produção Média/Turno:** Essa variável (*output* 02) indica a quantidade média de produto produzido em cada turno de 8 horas.

Considerando a matriz original de *inputs/outputs* nítida, foi introduzido a incerteza utilizando função de pertinência triangular, pois a mesma se adequa de forma intuitiva à modelagem computacional (FANSANGHARI; ROUDSARI, 2008).

Os números *fuzzy* triangulares foram obtidos adotando-se um desvio assimétrico para mais e para menos em relação ao valor nítido de cada *input* e *output*. Os valores superiores e inferiores foram decididos baseando-se em dados históricos e experiência dos engenheiros envolvidos na manufatura da empresa.

As matrizes de *input* e *output* se encontram, respectivamente, na Tabela 1 e Tabela 2 nos apêndices A e B.

**Etapa (c) - Modelagem** – Utilizou-se o *software General Algebraic Modeling System* (GAMS) na versão 24.3. Foram desenvolvidos dois programas, um para o cenário otimista e outro para o pessimista. Os resultados foram obtidos em planilha de Excel geradas pelo próprio *software*.

**Índices:**

$j$  é o índice de DMU,  $j \in J$ ,  $J = \{1, 2, 3, \dots, 70\}$ ;

$r$  é o índice de output,  $r \in R$ ,  $R = \{1, 2\}$ ;

$i$  é o índice de input,  $i \in I$ ,  $I = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ .

**Parâmetros:**

$\tilde{y}_{r0}$  e  $\tilde{x}_{i0}$  são, respectivamente, os valores dos limitantes inferiores nos intervalos de definição da função de pertinência triangular para a  $r$ -ésima *output fuzzy* e a  $i$ -ésima *input fuzzy* para a DMU<sub>0</sub>, considerando a média o valor mais provável, sem incerteza.

$\tilde{Y}_{r0}$  e  $\tilde{X}_{i0}$  são os valores dos limitantes superiores nos intervalos de definição da função de pertinência triangular para o  $r$ -ésimo *output Fuzzy* e o  $i$ -ésimo *input Fuzzy* para a DMU<sub>0</sub>, considerando a média o valor mais provável, sem incerteza.

$\tilde{y}_{rj}$  é o valor do limitante inferior no intervalo de definição da função de pertinência triangular para o  $r$ -ésimo *output Fuzzy* da  $j$ -ésima DMU, considerando a média o valor mais provável, sem incerteza.

$\tilde{Y}_{rj}$  é o valor do limitante superior no intervalo de definição da função de pertinência triangular para o  $r$ -ésimo *output Fuzzy* da  $j$ -ésima DMU, considerando a média o valor mais provável, sem incerteza.

$\tilde{x}_{ij}$  é o valor do limitante inferior no intervalo de definição da função de pertinência triangular para o  $i$ -ésimo *input Fuzzy* da  $j$ -ésima DMU, considerando a média o valor mais provável, sem incerteza.

$\tilde{X}_{ij}$  é o valor do limitante superior no intervalo de definição da função de pertinência triangular para o  $i$ -ésimo *input Fuzzy* da  $j$ -ésima DMU, considerando a média o valor mais provável, sem incerteza.

$\alpha$  é o valor escolhido para o nível- $\alpha$ , com variação de  $0 < \alpha \leq 1$ .

$\Psi_{i0}$  é o coeficiente de  $\alpha$  nas restrições, vinculado ao  $i$ -ésimo *input fuzzy* da DMU<sub>0</sub>.

$\rho_{r0}$  é o coeficiente de  $\alpha$  nas restrições, vinculado ao  $r$ -ésimo *output fuzzy* da DMU<sub>0</sub>.

$\Psi_{ij}$  é o coeficiente de  $\alpha$  nas restrições, vinculado ao  $i$ -ésimo *input fuzzy* da  $j$ -ésima DMU.

$\rho_{rj}$  é o coeficiente de  $\alpha$  nas restrições, vinculado ao  $r$ -ésimo *output fuzzy* da  $j$ -ésima DMU.

**Variáveis de Decisão:**

$u_r$  é o peso associado ao  $r$ -ésimo *output*.

$v_i$  é o peso associado ao  $i$ -ésimo *input*.

Para o desenvolvimento deste trabalho usaremos a formulação DEA BCC *Fuzzy* para um cenário otimista e pessimista. A seguir apresentamos as fórmulas para o cenário otimista:

$$E_j = \max \sum_{r=1}^s u_r (\tilde{Y}_{r0} + \rho_{r0}\alpha) + c_0 \quad (47)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^m v_i (\tilde{X}_{i0} - \psi_{i0}\alpha) = 1 \quad (48)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (\tilde{Y}_{rj} + \rho_{rj}\alpha) - \sum_{i=1}^m v_i (\tilde{X}_{ij} - \psi_{ij}\alpha) + c_0 \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (49)$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (50)$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (51)$$

$$c_0 \text{ irrestrita} \quad (52)$$

A seguir o modelo matemático para o cenário pessimista:

$$E_j = \max \sum_{r=1}^s u_r (\tilde{Y}_{r0} - \rho_{r0}\alpha) + c_0 \quad (53)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^m v_i (\tilde{X}_{i0} + \psi_{i0}\alpha) = 1 \quad (54)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (\tilde{Y}_{rj} - \rho_{rj}\alpha) - \sum_{i=1}^m v_i (\tilde{X}_{ij} + \psi_{ij}\alpha) + c_0 \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (55)$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (56)$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (57)$$

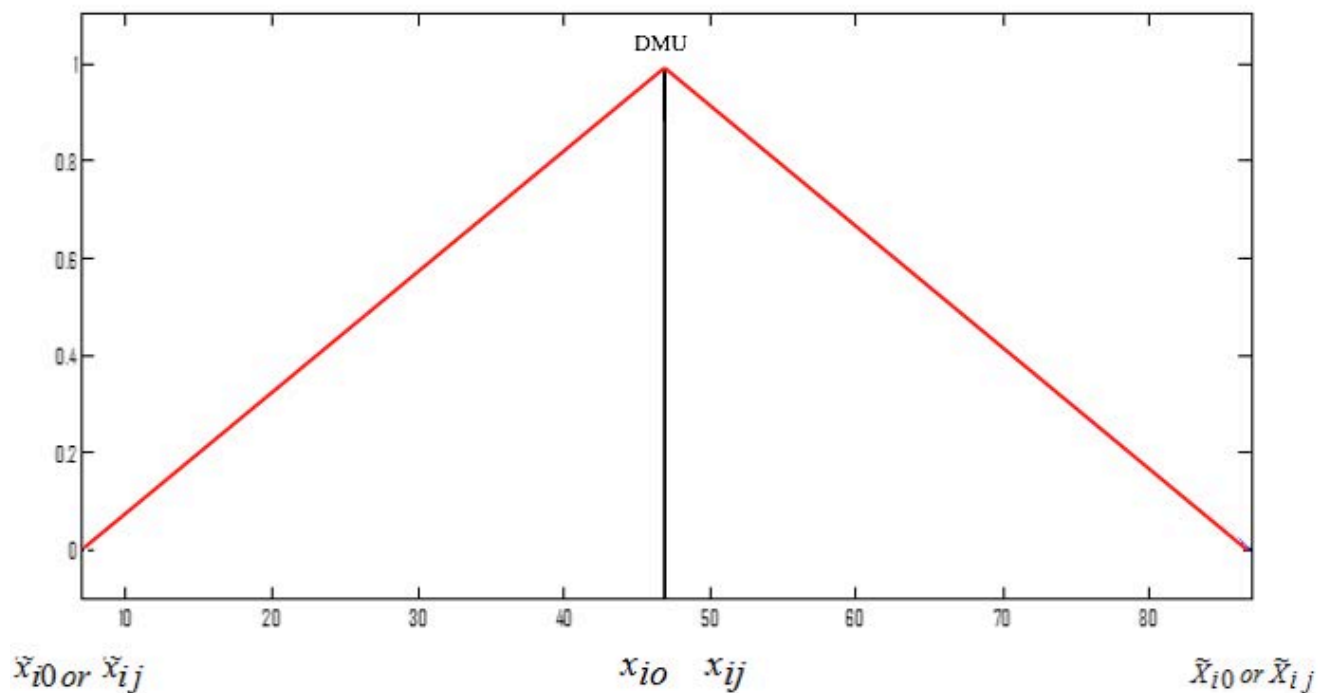
$$c_0 \text{ irrestrita} \quad (58)$$

Analisando o caso do modelo DEA BCC *Fuzzy* pessimista, quando o valor de  $\alpha$  é zero, obtêm-se os valores de limite inferior de incerteza para a matriz de *input* e o valor de limite superior de incerteza para a matriz de *output*. Por outro lado, com modelo DEA BCC *Fuzzy* otimista obtêm-se os limites inferior de incerteza para a matriz de *output*, e o limite superior de incerteza para a matriz de *input*, quando o valor  $\alpha$  é zero.

Quando o valor  $\alpha$  é 1, os resultados de eficiência são obtidos sem incerteza, sendo este o modelo BCC clássico. O mesmo é válido para ambos os casos.

Na Figura 8 é possível observar a posição dos parâmetros dos modelos DEA variando geometricamente de acordo com a função de pertinência triangular. Os valores de  $\tilde{x}_{i0}$  e  $\tilde{x}_{ij}$  correspondem ao limite inferior de incerteza,  $\tilde{X}_{i0}$  e  $\tilde{X}_{ij}$  aos limites máximo de incerteza. Sendo  $x_{i0}$  e  $x_{ij}$  os valores nítidos da matriz de *input* sem a incerteza, valor de  $\alpha = 1$ .

**Figura 8 – Função de pertinência triangular para matriz de *input***



Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2013)

### 3.3 Otimização DEA-fuzzy

Após a determinação das variáveis de entrada e saída para os cenários pessimista e otimista, foi executado o modelo utilizando o *software* GAMS para diferentes níveis de  $\alpha$  (variando  $\alpha$  de 0 a 1 com progressão aritmética de 0,2). Sendo assim, foram obtidas 7 medidas de eficiência para cada uma das 70 DMU's escolhidas. Os valores foram compilados na forma de tabela, apresentando as linhas de produção verticalmente e os níveis de  $\alpha$  horizontalmente.

Os valores obtidos, com a modelagem, variam de 0 a 1. Os resultados otimistas e pessimistas obtidos estão representados, respectivamente, na Tabela 3 e Tabela 4, que se encontram nos apêndices C e D, respectivamente.

Para a aglutinação dos valores gerados após a modelagem será utilizada a equação a seguir:

$$I_j = \sum_{i=0}^n ((E_j)_{x_i}^U - c) / \left[ \sum_{i=0}^n ((E_j)_{x_i}^U - c) - \sum_{i=0}^n ((E_j)_{x_i}^L - d) \right], \quad n \rightarrow \infty. \quad (59)$$

Sendo:  $c = \min_{i,j} \{(E_{ji})_{\alpha_i}^L\}$  e  $d = \min_{i,j} \{(E_{ji})_{\alpha_i}^U\}$ . Quanto maior o *ranking* do índice  $I_j$  mais preferido é o número *fuzzy*. U representa resultados do modelo otimista e L do modelo pessimista. Sendo h a altura máxima de  $\mu_E$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ . Supondo que h seja dividido igualmente em n intervalos de  $\alpha_i = ih/n, i = 0, \dots, n$ . Chen and Klein (1997) acreditam que um número mínimo de cenários,  $n = 3$  ou  $4$  é necessário e suficiente para discriminar as diferenças entre eles.

### 3.4 Análise dos resultados e Considerações finais

Primeiramente foi calculada a eficiência, Tabelas 3 e 4 (apêndices C e D) e a supereficiência, Tabelas 5 e 6 (apêndices E e F) de cada uma das 70 DMU's para ambos os cenários.



Os dados obtidos para ambos os cenários foram combinados, tanto de eficiência quanto de supereficiência, por meio da aglutinação (equação 59) para cada DMU, estes dados são apresentados na Tabela 7 que se encontra no apêndice G.

Para analisar se o resultado obtido após a modelagem é mais ou menos eficiente que aquele apresentado pelo OEE, é preciso equiparar os dados apresentados pela Tabela 6.

Observando a Tabela 5 no apêndice E, coluna de eficiência, percebe-se existem 21 linhas que são consideradas eficientes pelo modelo *fuzzy* DEA-BCC. Quanto à coluna de supereficiência, é possível identificar a RH14 – B como DMU mais eficiente dentre as 70 apresentadas.

Quando o OEE é comparado com a eficiência calculada pelo modelo apresentado neste trabalho, como na Tabela 8, é possível perceber a discrepância entre os valores encontrados após a modelagem e aquelas apresentadas pela empresa.

O indicador OEE aponta que a linha RH17 – A é a mais eficiente entre as estudadas, e apesar da mesma se encontrar entre as mais eficiente, o modelo *fuzzy* DEA-BCC aponta, como dito anteriormente, que esta máquina não é considerada a mais eficiente e sim a RH14 – B.

Após a manipulação dos resultados, percebe-se que, as DMU's que possuem maior sensibilidade à variação dos dados são as que apresentam menor valor de eficiência atribuídos à elas.

A Tabela 9, apêndice H, é organizada de forma a ranquear as máquinas com maior supereficiência, dessa forma, é possível perceber a diferença entre os dois métodos. É interessante observar que a RH14 – B é tida como a mais eficiente pela modelagem feita neste trabalho, porém possui valor de OEE de apenas 51%. Esta discrepância pode ser fruto tanto do procedimento de coleta de dados tanto quanto pela forma como a empresa calcula o indicador OEE.

É importante compreender que a interpretação do indicador de eficiência, introduzido pelo Sistema Toyota de Produção, varia entre empresas. Este trabalho foi desenvolvido dentro de uma companhia que considera horário de almoço, lanche, treinamentos e testes como tempo útil de produção, logo a eficiência desses períodos é de zero. Quando estes valores são computados juntamente com o tempo em que efetivamente houve produção, o índice de produtividade é reduzido, consideravelmente, e mascara como a linha realmente se comportou durante a fabricação real de produtos. Existem corporações que desconsideram esse tempo no cálculo de eficácia e desta forma apresentam valores de OEE bem superior aos apresentados neste trabalho.

Analisando a Tabela 10, apêndice I, é visto que as dez primeiras linhas de produção consideradas eficientes pelo cálculo do OEE possuem valores de supereficiência variando até 158%, por outro lado existem seis outras linhas de produção, RH14 – B, RH07 – A, HS04 – C, UN04 – B, RH01 – C, EDM1 – C, que possuem valores de 938%, 381%, 288%, 233%, 167% e 162%, respectivamente, e foram classificadas como mais eficientes pela modelagem *fuzzy* DEA-BCC.

Comparando os *rankings* das dez DMU's mais eficientes, os dados fornecidos pela empresa com os apresentados neste trabalho, encontra-se três que são comuns: RH02 – B, RH03 – C, RH05 – B, porém não se encontram na mesma posição para ambos os casos, na classificação por supereficiência, essas linhas de produção, ocupam a sétima, oitava e décima colocação respectivamente, já para a análise com dados de OEE, ocupam a oitava, nova e terceira colocação respectivamente.

É interessante notar que a RH03 – C se encontra na mesma disposição para ambos ranqueamentos, supereficiência e OEE, outras três DMU's também ocupam o mesmo posicionamento em ambos os métodos, EDM2 – A, EDM2 – B e EDM2 – C, na quinquagésima, sexagésima primeira e sexagésima terceira classificação, respectivamente. Esses dados indicam equivalência de apenas 5,7% entre a distribuição de eficácia *fuzzy* DEA-BCC e do OEE.

Sabendo das diferenças apresentadas, levanta-se a hipótese de que os dados gerados pela empresa podem não ser confiáveis, tendo em vista o processo como tais informações são geradas é possível afirmar que este problema faz parte da realidade e afeta de maneira significativa os resultados das linhas de produção e de maneira geral da empresa.

A Tabela 11, apêndice J apresenta os valores alvos (metas) para cada uma dos cinco *Inputs* das 49 DMU's, que foram consideradas ineficientes pela modelagem. O cálculo foi realizado por meio da multiplicação direta dos valores de ineficiência, encontrados pelo modelo *fuzzy* DEA-BCC, com os dados médios de *input* do estudo. Para a melhor compreensão dessas metas, tomemos como exemplo a RH08 – B, atualmente o valor médio de ocorrência de pequenas paradas é de 45, para se tornar eficiente é necessário que este número seja reduzido para 19, uma redução de aproximadamente 57%. Olhando para a RH15 – B, percebe-se que precisa haver uma redução de 68% nas ocorrências de pequenas paradas, reduzindo, desta forma, de 93 para 30 os incidentes. Pareando as duas DMU's escolhidas nota-se que quanto mais ineficiente é a linha maior será o desafio de torna-la eficiente.

Tabela 8 – Comparação da Eficiência (modelo fuzzy DEA-BCC) com OEE

<b>DMU</b>	<b>EDM1 – A</b>	<b>EDM1 - B</b>	<b>EDM1 - C</b>	<b>EDM2 – A</b>	<b>EDM2 - B</b>	<b>EDM2 – C</b>	<b>EDM3 - A</b>
<b>Eficiência</b>	95.40%	96.24%	100.00%	61.79%	41.99%	25.45%	100.00%
<b>OEE</b>	35,73%	39,02%	45,11%	50,64%	43,00%	41,87%	32,11%
<b>DMU</b>	<b>EDM3 - B</b>	<b>EDM3 - C</b>	<b>HS04 - A</b>	<b>HS04 - B</b>	<b>HS04 - C</b>	<b>RH01 – A</b>	<b>RH01 - B</b>
<b>Eficiência</b>	75.05%	98.25%	71.71%	69.38%	100.00%	97.14%	93.88%
<b>OEE</b>	40,17%	49,27%	44,43%	48,98%	54,76%	62,27%	50,43%
<b>DMU</b>	<b>RH01 - C</b>	<b>RH02 - A</b>	<b>RH02 - B</b>	<b>RH02 - C</b>	<b>RH03 - A</b>	<b>RH03 – B</b>	<b>RH03 - C</b>
<b>Eficiência</b>	95.26%	97.12%	100.00%	98.72%	66.66%	60.07%	100.00%
<b>OEE</b>	18,66%	51,95%	75,67%	56,23%	67,50%	64,48%	74,34%
<b>DMU</b>	<b>RH04 - A</b>	<b>RH04 - B</b>	<b>RH04 - C</b>	<b>RH05 - A</b>	<b>RH05 - B</b>	<b>RH05 - C</b>	<b>RH06 - A</b>
<b>Eficiência</b>	100.00%	93.69%	96.58%	100.00%	100.00%	92.91%	89.94%
<b>OEE</b>	67,90%	70,97%	73,32%	80,53%	83,37%	76,06%	46,90%
<b>DMU</b>	<b>RH06 - B</b>	<b>RH06 - C</b>	<b>RH07 - A</b>	<b>RH07 - B</b>	<b>RH07 - C</b>	<b>RH08 - A</b>	<b>RH08 - B</b>
<b>Eficiência</b>	100.00%	90.96%	100.00%	92.42%	86.66%	83.04%	43.48%
<b>OEE</b>	42,96%	49,43%	67,25%	80,32%	63,41%	65,20%	58,01%
<b>DMU</b>	<b>RH08 - C</b>	<b>RH09 - A</b>	<b>RH09 - B</b>	<b>RH10 - A</b>	<b>RH10 - B</b>	<b>RH10 - C</b>	<b>RH11 - A</b>
<b>Eficiência</b>	100.00%	100.00%	100.00%	81.69%	88.47%	73.65%	77.28%
<b>OEE</b>	77,96%	54,20%	64,38%	52,88%	53,92%	50,80%	62,88%
<b>DMU</b>	<b>RH11 - B</b>	<b>RH11 - C</b>	<b>RH12 - A</b>	<b>RH12 - B</b>	<b>RH12 - C</b>	<b>RH14 - A</b>	<b>RH14 - B</b>
<b>Eficiência</b>	66.77%	73.05%	100.00%	87.62%	76.33%	100.00%	100.00%
<b>OEE</b>	51,15%	58,58%	83,44%	70,20%	71,06%	54,09%	51,19%
<b>DMU</b>	<b>RH14 - C</b>	<b>RH15 - A</b>	<b>RH15 - B</b>	<b>RH16 - A</b>	<b>RH16 - B</b>	<b>RH17 - A</b>	<b>UN01 - A</b>
<b>Eficiência</b>	100.00%	57.81%	31.99%	55.90%	59.24%	100.00%	80.11%
<b>OEE</b>	52,24%	44,69%	35,30%	51,05%	55,60%	83,52%	55,30%
<b>DMU</b>	<b>UN01 - B</b>	<b>UN01 - C</b>	<b>UN02 - A</b>	<b>UN02 - B</b>	<b>UN02 - C</b>	<b>UN03 - A</b>	<b>UN03 - B</b>
<b>Eficiência</b>	64.46%	57.87%	60.78%	94.36%	96.35%	59.67%	45.67%
<b>OEE</b>	53,59%	56,01%	38,37%	60,61%	58,72%	52,35%	44,00%
<b>DMU</b>	<b>UN03 – C</b>	<b>UN04 - A</b>	<b>UN04 - B</b>	<b>UN04 - C</b>	<b>UN05 - A</b>	<b>UN05 - B</b>	<b>UN05 - C</b>
<b>Eficiência</b>	59.61%	100.00%	100.00%	100.00%	97.68%	76.62%	74.02%
<b>OEE</b>	51,72%	52,21%	58,34%	66,89%	45,74%	52,37%	56,84%

## 4 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO PARA FUTURAS PESQUISAS

### 4.1 Verificação Dos Objetivos

Este trabalho visou a otimização de dados incertos e conseguiu demonstrar a finalidade do modelo *fuzzy* DEA-BCC. Percebe-se a possibilidade de utilizar o mesmo como ferramenta de tomada de decisão, sendo possível medir a eficiência de múltiplas DMU's e identificar a sensibilidade à imprecisão das grandezas de entrada e saída. Após todas as análises desenvolvidas, entende-se que o modelo proposto por este trabalho pode ser utilizado como fonte de decisão por parte do supervisor, e também, é capaz de estipular metas para tornar as DMUs ineficiente em eficientes. Neste sentido, o presente trabalho obteve resultados consideravelmente diferentes daqueles oferecidos pelo OEE medido pela empresa.

Durante a realização deste estudo houve acompanhamento para melhor entendimento do porque das incertezas citadas anteriormente. O principal motivo encontrado foi o erro de processo de coleta dos dados de entrada e saída, pois o mesmo não é automatizado. Tendo resultados tão influenciados por variação de grandezas dificultou o desenvolvimento da matriz de *input* e *output*, visto que os dados dos limites superior e inferior tiveram que ser escolhidos tanto baseados em dados históricos, fornecidos pela empresa, quanto pela análise crítica de engenheiros que conhecem e convivem com o processo há anos.

Conclui-se que existe aproximadamente 57% de acuracidade entre os resultados, considerando as 21 linhas (DMUs) consideradas eficientes pelo modelo *fuzzy* DEA-BCC, apenas 12 se encontram no *ranking* do indicador OEE.

A Tabela 11, apêndice J, permite a identificação das metas de eficiência e desta forma é possível que o supervisor possa agir de maneira assertiva nas cinco variáveis de entrada e obter uma linha de produção eficiente, além de ter clara visão de quanto esforço e dedicação cada DMU demanda para se tornar eficiente. Esses valores alvos são baseados nas porcentagens de ineficiência dessas máquinas, desta forma, o desafio para melhoria é específico à cada uma delas.

Tendo em vista todos os resultados e o acompanhamento do processo no chão de fábrica é concluído que o processo realizado para a geração dos dados de entrada e saída do sistema são realmente muito afetados pelo fator humano. As aproximações de valores e muitas vezes até mesmo uma estimativa feita pelo funcionário, baseado em conhecimento adquirido por anos de empresa, impactam nos resultados que são mascarados pelo cálculo do OEE.

Este trabalho comprova a necessidade de considerar as variações causadas na obtenção destes dados, assim como a necessidade de melhoria deste processo para que as incertezas possam ser diminuídas. É sugerido que seja realizado um acompanhamento da obtenção de cada uma das cinco entradas, para entender quais são os momentos mais críticos durante a coleta das grandezas, e que em cima desta análise seja gerado um plano de ação para amenizar a influência dessas variações na eficiência de máquina.

Em resumo o *fuzzy* DEA-BCC gerou resultados que facilitam compreender melhor a realidade de cada DMU, além de apresentar metas nítidas e alcançáveis para cada entrada no sistema. Entende-se que o OEE deixa a desejar pela ampla interpretação de seus índices, além do mesmo maquiagem o quanto o problema de ineficiência é gerado pela máquina e o quanto é ocasionado pelo processo utilizado para medição de eficácia.

Recomenda-se automatizar a medição das grandezas de entrada e saída, além de a princípio manter o indicador OEE enquanto paralelamente é implementado o modelo desenvolvido por este trabalho, e realizar mudanças na manufatura, que visem atingir as metas apresentadas e desta forma poder entender se houve melhoria em performance. A substituição para o método *fuzzy* DEA-BCC deverá ocorrer se as ações desenvolvidas, baseadas nos resultados que o mesmo gerou, levarem à um aumento de produtividade.

## 4.2 Recomendações para Futuras Pesquisas

Considerando o número reduzido de trabalhos publicados sobre o tema, recomenda-se, para futuras pesquisas:

- Comparar o modelo *fuzzy* DEA com o OEE, analisando diferentes produtos produzidos em múltiplas linhas de produção.
- Inserir novos parâmetros de entrada, como, por exemplo, demanda, WIP, etc.
- Utilizar os valores alvos (metas) como referência para o cálculo do OEE das máquinas não eficientes pelo modelo *fuzzy* DEA.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES, JUNICO. *et. al.* Sistemas de produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: **Bookman**, 2008.

BACKHAUS, K. et al. Measuring service productivity with Data Envelopment Analysis (DEA ). p. 1–20, 2009.

BANKER, R. D.; CHARNES, A. & COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies In Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n.9, p.1078-1092, 1984.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 22, n. 2, pp. 241-264, 2002.

BUSSO, C. M.; MIYAKE, D. I. Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica. **Produção**, v. 23, n. 2, p. 205–225, jun. 2013.

CHEN, C. B.; KLEIN, C. M. A simple approach to ranking a group of aggregated fuzzy utilities. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics**, v. 27, n. 1, p. 26–35, 1997.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, vol. 2, n. 6, pp. 429-444, 1978.

CHIARINI, A. Lean production: mistakes and limitations of accounting systems inside the SME sector. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 23, n. 5, p. 681–700, 2012.

COOPER, W. W.; PARK, K. S.; YU, G. IDEA and AR-IDEA: Models for Dealing with Imprecise Data in DEA. **Management Science**, v. 45, n. 4, p. 597–607, 1999.

COOPER, W. W.; PARK, K. S.; YU, G. An Illustrative Application of Idea (Imprecise Data Envelopment Analysis) to a Korean Mobile Telecommunication Company. **Operations Research**, v. 49, n. 6, p. 807–820, 2001a.

COOPER, W. W.; PARK, K. S.; YU, G. IDEA (Imprecise Data Envelopment Analysis) with CMDs (Column Maximum Decision Making Units). **Journal of the Operational Research Society**, v. 52, n. 2, p. 176–181, 2001b.

CORTEZ, L. C. S. C. et al. Análise de eficiência na gestão de portos públicos brasileiros em relação ao papel das autoridades portuárias. **Journal of Transport Literature**, v. 7, n. 2, p. 78–96, 2013.

DE RON, A.; ROODA, J. OEE and equipment effectiveness: an evaluation. **Int. J. Prod. Res.**, v. 44, n. 23, p. 4987–5003, 2006.

FIGUEIREDO, R. Implantação do Sistema Puxado em uma empresa produtora de bens de capital. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção e Sistemas – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2010.

FRANCISCO, A. “ Pensar estatisticamente será um dia , para a eficiente prática da cidadania , tão necessário como a habilidade de ler e escrever . ”. p. 1–31, [s.d.].

GHINATO, P. Elementos Fundamentais do Sistema Toyota de Produção. In: GHINATO, P. Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações. Recife: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza; UFPE, 2000.

KAO, C.; LIN, P. H. Efficiency of parallel production systems with fuzzy data. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 198, p. 83–98, 2012.

KAO, C.; LIU, S.-T. Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 113, n. 3, p. 427–437, 2000.

LIKER K. J. O Modelo Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LERTWORASIRKUL, S. et al. Fuzzy data envelopment analysis (DEA): a possibility approach. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 139, n. 2, p. 379–394, 2003.

MASKELL, B.H; BAGGALEY, B., (2003). Pratical lean accounting. New York, Productivity Press.

OHNO, T. Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PALMEIRA FILHO, Pedro L.; PAN, Simon S. K. Cadeia farmacêutica no Brasil: avaliação preliminar e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 18, p. 3-22, set., 2003.

PASCAL, Dennis. Produção Lean Simplificada: Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2008.

PEDRO, J.; RODRIGUES, A. Oee – a forma de medir a eficácia dos equipamentos. **Sites The Journal Of 20Th Century Contemporary French Studies**, p. 1–15, [s.d.].

PERGHER, I.; RODRIGUES, L. H.; LACERD, D. P. Discussão teórica sobre o conceito de perdas do Sistema Toyota de Produção: inserindo a lógica do ganho da Teoria das Restrições. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 4, p. 673–686, 2011.

SHERMAN, H. D.; ZHU, J. (2006): Service Productivity Management - Improving Service Performance using Data Envelopment Analysis (DEA). New York: Springer.

SHINGO 1909, S. **A study of the Toyota production system from an industrial engineering viewpoint**. Boca Raton: Boca Raton : CRC Press : Taylor & Francis Group, 2005.

SHINGO, S. Sistemas de produção com estoque zero: o Sistema Shingo para melhorias contínuas. Porto Alegre: Bookman, 1996a. SHINGO, S. O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção. Porto Alegre: **Bookman**, 1996b.

SILVA, A. F.; MARINS, F. A. S.; MONTEVECHI, J. A. B. Aplicação de programação por metas binária - mista em uma empresa do setor sucroenergético. **Gestão & Produção**, vol. 20, n. 2, pp. 312-336, 2013.

SILVA, A.F.; MARINS, F. A. S.; SANTOS, M. V.B.; MIRANDA, R. C. de.; FERRAZ, R. G. Avaliação Da Eficiência Sob Incerteza por Meio da Programação por Metas, Análise por Envoltória de Dados e Teoria Fuzzy: Aplicação em Minifábricas do Segmento de Autopeças. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. SBPO, 2013.

SILVA, T. D. F. A. Desenvolvimento De Um Roteiro Para Implantação De Um Sistema De Medição De Desempenho Para Chão De Fábrica Para Ambientes De Produção Enxuta. **Ufscar**, 2010.

SILVA, T.; FILHO, T.; KARAWEJCZYK, T. C. O Sentido do trabalho no sistema toyota de produção: Um estudo exploratório, p. 26–48, 2014.



SLACK, N. et. al. Administração da produção. São Paulo: Atlas, 1996.

SUEYOSHI, T. Stochastic DEA for restructure strategy: an application to a Japanese petroleum company. **Omega**, v. 28, n. 4, p. 385–398, 2000.

TAO, L.; LIU, X.; CHEN, Y. Online banking performance evaluation using data envelopment analysis and axiomatic fuzzy set clustering. **Quality & Quantity**, 2012.

WEN, M.; QIN, Z.; KANG, R. Sensitivity and stability analysis in fuzzy data envelopment analysis. **Fuzzy Optimization and Decision Making**, v. 10, n. 1, p. 1–10, 2011.

WOMACK, J.; JONES, D.; ROOS, D. A Máquina que mudou o mundo. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

XUE, M.; HARKER, P. T. Note: Ranking DMUs with Infeasible Super-Efficiency DEA Models. **Management Science**, v. 48, n. 5, p. 705–710, 2002.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, vol. 8, pp. 338-353, 1965

ZAMMORI, F. Fuzzy Overall Equipment Effectiveness (FOEE): capturing performance fluctuations through LR Fuzzy numbers. **Production Planning & Control**, n. July, p. 1–16, 2014.

## APÊNDICE A

Tabela 1 – Matriz de inputs

MU	Parada Programada (min)	Downtime (min)	Pequenas Paradas (ocorrências)	Perda (unidade)	Velocidade Média Nominal (unidade/min)
M1 - A	(780; 960; 1510)	(467,67; 1388; 1403)	(67; 71; 154)	(3070; 4305; 12969)	(949,13; 971,67; 1159,41)
M1 - B	(960; 1190; 1588,33)	(461,67; 1255; 1385)	(29; 41; 101)	(2869; 2889; 11808)	(1113,72; 1125,35; 1993,81)
M1 - C	(1197; 1440; 1468,33)	(390; 489,44; 850)	(32; 51; 116)	(1664; 2016; 11408)	(957,58; 968,62; 1456,25)
M2 - A	(1197; 1615; 1703,33)	(430,33; 435; 930,67)	(162; 177; 236)	(3831; 5204; 19887)	(2448,16; 2585,96; 3284,63)
M2 - B	(1440; 1520; 1810)	(714,67; 847; 1074,33)	(137; 159; 175)	(4913; 6364; 20848)	(2487,93; 2577,45; 3096,39)
M2 - C	(1690; 2400; 2490)	(430,33; 489; 1112)	(81; 98; 145)	(3070; 3170; 16581)	(2218,02; 2500; 3988,74)
M3 - A	(1048; 1440; 1706,67)	(735,67; 1030; 1687)	(109; 123; 195)	(1906; 2558; 12916)	(1109,92; 1164,06; 2278,66)
M3 - B	(1320; 1680; 1926,67)	(562,33; 830; 1330)	(112; 140; 230)	(3375; 5730; 15132)	(1279,41; 1500; 3000)
M3 - C	(1320; 1383; 1740)	(466,67; 750; 980)	(99; 147; 259)	(2085; 4364; 14625)	(1445,4; 1722,22; 2839,55)
04 - A	(780; 960; 1440)	(479,33; 980; 1170)	(177; 209; 238)	(1781; 17428; 28824)	(3124,83; 3140; 3341,86)
04 - B	(1440; 1830; 2174,33)	(390; 522; 923,33)	(77; 102; 241)	(1667; 10407; 15403)	(2600; 2988,24; 3313,23)
04 - C	(1690; 2880; 3000)	(103,33; 170; 557,33)	(39; 52; 210)	(2234; 2780; 13565)	(3313,23; 3500; 3550)
I01 - A	(830; 960; 1440)	(665,67; 864; 985,67)	(7; 11; 72)	(4852; 20628; 24240)	(1380; 1647,2; 1714)
I01 - B	(640; 960; 1120)	(848; 1117; 1144,67)	(5; 9; 55)	(4275; 14926; 22544)	(1380; 1647,2; 1651,13)
I01 - C	(1197; 3060; 3090)	(112,67; 235; 571)	(0; 0; 40)	(3185; 14560; 22392)	(1502,47; 1714; 1718,12)
I02 - A	(610; 960; 1440)	(682; 1073; 1630)	(18; 21; 53)	(5667; 7016; 16715)	(1120; 1172; 1542)
I02 - B	(648; 960; 1104,67)	(477,33; 520; 926,33)	(3; 6; 38)	(6443; 10566; 20062)	(1160; 1172; 1463,6)
I02 - C	(780; 960; 1573)	(309; 974; 1019)	(19; 25; 48)	(5074; 6954; 15800)	(1160; 1181,75; 1433,38)
I03 - A	(1197; 1340; 2109)	(237,67; 557; 824,33)	(21; 36; 54)	(9716; 18725; 32320)	(1133; 1242,02; 1460,82)
I03 - B	(1158; 1440; 2618,33)	(451; 650; 1143,67)	(19; 31; 47)	(8569; 15630; 28075)	(1142,06; 1269,5; 1286,61)
I03 - C	(1383; 2940; 3360)	(100; 102; 495)	(0; 2; 41)	(7437; 13578; 25873)	(1003,59; 1133; 1346,79)
I04 - A	(960; 1142; 1747,67)	(550,33; 679; 887)	(0; 0; 62)	(7512; 11648; 34095)	(1275,65; 1477,49; 1585,35)
I04 - B	(830; 960; 1470)	(370; 598; 658)	(22; 61; 71)	(8363; 17440; 36174)	(984,17; 1473,1; 1565,67)
I04 - C	(780; 960; 1188,33)	(129,67; 556; 658,33)	(29; 85; 109)	(7548; 14688; 35069)	(1245,08; 1470,4; 1570,69)
I05 - A	(960; 1440; 1815,33)	(282,33; 299; 433,33)	(35; 37; 102)	(6754; 16350; 23817)	(1705,99; 1741,25; 1840,87)
I05 - B	(960; 1440; 1940)	(214,33; 289; 572,67)	(64; 112; 115)	(5315; 5764; 19395)	(1726,84; 1742,78; 1829,95)
I05 - C	(1197; 1590; 1980)	(302; 358; 658)	(38; 40; 106)	(6065; 10437; 21202)	(1735,62; 1764,7; 1822,12)
I06 - A	(830; 960; 1440)	(969,67; 1065; 1335,33)	(49; 86; 91)	(6475; 13883; 44310)	(715; 717,8; 1221,73)
I06 - B	(2170; 2880; 3360)	(38,33; 196; 427)	(0; 0; 57)	(3301; 3308; 40406)	(856,67; 889; 1310)
I06 - C	(830; 960; 1640)	(829,33; 1033; 1141)	(33; 61; 78)	(12405; 20025; 44323)	(753,03; 760,6; 1574,02)
I07 - A	(450; 480; 1440)	(445,67; 847; 1043)	(26; 31; 79)	(16130; 37701; 43707)	(1610; 1702,76; 1747)
I07 - B	(830; 960; 1959,67)	(343,67; 375; 618,33)	(33; 36; 101)	(11298; 32729; 44172)	(1575,16; 1692,2; 1738,3)
I07 - C	(480; 620; 1120)	(694,33; 899; 1012)	(66; 91; 112)	(15555; 33557; 47787)	(1580,95; 1699; 1705,87)
I08 - A	(780; 960; 1920)	(564,67; 758; 863,67)	(21; 26; 59)	(13971; 46014; 50936)	(1774,02; 1774,2; 1774,86)
I08 - B	(960; 1180; 2045)	(738; 817; 911)	(24; 45; 78)	(12635; 45721; 53207)	(1773,39; 1774,3; 1776,04)
I08 - C	(2170; 2880; 3360)	(98; 100; 413)	(0; 1; 40)	(7696; 7696; 17276)	(1769; 1770; 1774,27)
I09 - A	(670; 960; 1923,33)	(229; 665; 751)	(87; 165; 179)	(2904; 15785; 23690)	(416; 496,4; 690,38)
I09 - B	(670; 960; 1970)	(466,33; 793; 1010)	(110; 272; 329)	(3532; 23915; 53640)	(416; 496,4; 718,12)
I10 - A	(450; 480; 1406,67)	(582,33; 1244; 1414)	(25; 87; 106)	(3467; 28042; 31258)	(800; 1072,67; 1164,42)
I10 - B	(450; 480; 1445,67)	(407,33; 1186; 1287)	(20; 48; 133)	(3278; 20758; 21991)	(1052,5; 1115,57; 1390,88)
I10 - C	(830; 960; 1994)	(276,67; 1111; 1426)	(21; 64; 151)	(3307; 21244; 23348)	(913,29; 1074; 1264,51)
I11 - A	(1471; 1940; 2773)	(433; 490; 608)	(18; 24; 68)	(4025; 8848; 24405)	(975,49; 1066; 1226,14)
I11 - B	(747; 960; 1283,33)	(759,33; 1105; 1199)	(67; 78; 144)	(5482; 16349; 25052)	(909,81; 1066; 1324,21)
I11 - C	(955; 1859; 2466,67)	(302; 567; 906)	(20; 45; 61,33)	(5629; 18282; 46312)	(993,69; 1066; 1260,9)
I12 - A	(718; 960; 1111,67)	(216,33; 372; 601)	(7; 24; 41)	(5143; 11060; 18132)	(1138,63; 1172; 1179,63)
I12 - B	(718; 960; 1463,33)	(464,33; 648; 852)	(3; 5; 66)	(5451; 12513; 18369)	(1126,45; 1172; 1196,96)
I12 - C	(1040; 1200; 2300)	(247; 560; 741)	(41; 62; 67)	(6220; 18079; 21165)	(1106,8; 1172; 1191,55)
I14 - A	(0; 0; 2075)	(905,67; 1409; 1422)	(31; 63; 107)	(5505; 13047; 14182)	(430,88; 499,57; 510,06)
I14 - B	(500; 776; 1920)	(831; 1229; 1326)	(4; 10; 95)	(4713; 11491; 20429)	(481,95; 486,19; 490,98)

I14 - C	(419; 480; 1111.67)	(751.67; 1339; 1414)	(54; 92; 144)	(6292; 14400; 23313)	(421.78; 485.33; 495.21)
I15 - A	(419; 480; 2400)	(774.67; 1487; 1994)	(41; 62; 74)	(2593; 81222; 89518)	(786; 1156.5; 1527)
I15 - B	(419; 480; 2726.67)	(885.67; 1634; 1767)	(52; 93; 115)	(1728; 67397; 80070)	(786; 1094.75; 1381)
I16 - A	(419; 480; 2740)	(742.33; 1182; 1328.67)	(204; 341; 364)	(11560; 81132; 100409)	(840.44; 900; 905)
I16 - B	(830; 960; 3040)	(547; 823; 1034)	(53; 197; 204)	(9140; 43651; 60217)	(827.74; 900; 905)
I17 - A	(1458; 1557; 1920)	(92; 277; 558.33)	(2; 10; 61)	(5095; 23776; 37550)	(1202.58; 1530; 1775.31)
I01 - A	(830; 960; 2300)	(444.33; 601; 899.67)	(111; 333; 358)	(4838; 11725; 13644)	(1762.5; 2418.75; 2598.24)
I01 - B	(780; 820; 1820)	(529; 810; 1011.67)	(73; 297; 344)	(5717; 17589; 18259)	(1743.24; 2503.94; 2815.95)
I01 - C	(1440; 1920; 2231.67)	(274.33; 460; 505)	(59; 107; 251)	(4897; 14544; 14619)	(1500; 2000; 2358.15)
I02 - A	(900; 1200; 2240)	(682.67; 1211; 1748)	(102; 135; 198)	(8297; 21395; 26189)	(3113.21; 3694.44; 3854.43)
I02 - B	(803; 960; 1460)	(331.33; 730; 886)	(143; 243; 298)	(7390; 16943; 23791)	(3304.75; 3983.33; 4226.45)
I02 - C	(1440; 2055; 2560)	(334.67; 415; 600)	(50; 89; 198)	(7329; 9394; 21464)	(3104.58; 3766.28; 4057.4)
I03 - A	(907; 1310; 1938.33)	(538.33; 644; 893)	(121; 176; 233)	(7936; 29223; 44984)	(2773.9; 2839.02; 3207.88)
I03 - B	(1140; 2070; 3016.67)	(279.67; 560; 783)	(54; 77; 318)	(5077; 13056; 24549)	(2500; 2627.91; 3271.84)
I03 - C	(907; 1140; 2080)	(360.33; 792; 1039)	(105; 182; 225)	(6422; 14891; 37092)	(2682.31; 2824.32; 3090.14)
I04 - A	(450; 480; 1580)	(610; 865; 1270)	(151; 339; 453)	(3563; 22098; 35009)	(2948.62; 3833.33; 3983.81)
I04 - B	(800; 1020; 2080)	(472.33; 607; 889)	(67; 276; 282)	(4560; 26243; 46136)	(2966.29; 3743.59; 3911.46)
I04 - C	(960; 2160; 2536.67)	(67.33; 175; 317)	(59; 168; 178)	(2209; 7480; 23929)	(3029.47; 4000; 4030.77)
I05 - A	(1140; 1785; 2180)	(514.33; 670; 916)	(81; 173; 199)	(798; 4958; 14010)	(3000; 3274.29; 3305.86)
I05 - B	(960; 1200; 1828.33)	(354; 748; 1048)	(47; 155; 175)	(3731; 15356; 20450)	(3089.29; 3238.19; 3363.56)
I05 - C	(1440; 2055; 2153)	(121; 437; 618)	(104; 104; 154)	(1850; 8463; 16010)	(3090.63; 3300; 3359.6)

## APÊNDICE B

**Tabela 2 – Matriz de *outputs***

DMU	Produtos Bons (unidade)	Produção Média/ Turno 8hrs (unidades)
EDM1 - A	(400667; 854000; 1675667)	(157865.44; 170800; 336400)
EDM1 - B	(931667; 1151000; 1937333)	(240111.11; 254599.08; 321816.22)
EDM1 - C	(837333; 864000; 1749000)	(209301; 216000; 361603.01)
EDM2 - A	(844667; 2231000; 3463667)	(279638.71; 613684.81; 823966.97)
EDM2 - B	(794333; 2002000; 2669667)	(210875; 522260.87; 657954.98)
EDM2 - C	(562333; 1005000; 2475333)	(159420.21; 502500; 643494.25)
EDM3 - A	(752667; 771000; 3639333)	(265647.06; 192750; 659048.9)
EDM3 - B	(869000; 1043000; 4111000)	(280949.15; 298000; 792645.16)
EDM3 - C	(1021667; 1362000; 4277333)	(292045.98; 403555.56; 886500)
HS04 - A	(1067333; 3332000; 4231667)	(645789; 666400; 986833.33)
HS04 - B	(925000; 2158000; 4073667)	(679453; 677019.61; 991467.93)
HS04 - C	(517333; 920000; 1620000)	(711565.93; 920000; 1075835.62)
RH01 - A	(892800; 2430000; 2739013)	(318587.59; 486000; 671411.04)
RH01 - B	(769920; 1976400; 2658720)	(287445.81; 395280; 587019.13)
RH01 - C	(739200; 96000; 739200)	(275931.43; 153600; 353998.5)
RH02 - A	(684000; 1408680; 2305136)	(265292; 281736; 563101.16)
RH02 - B	(870400; 2113800; 2496000)	(339800; 422760; 645875.41)
RH02 - C	(819200; 1574520; 2157840)	(301751; 314904; 615562.93)
RH03 - A	(1025520; 1680480; 1969840)	(282624; 399321.98; 472701.35)
RH03 - B	(806400; 1560720; 1916160)	(231746.16; 390180; 471482.01)
RH03 - C	(358080; 353760; 1025520)	(293577.42; 404297.14; 485787.04)
RH04 - A	(501760; 2173200; 2656000)	(240844.8; 470304.78; 633086.37)
RH04 - B	(594560; 2520960; 2664240)	(248957.95; 504192; 637599.28)
RH04 - C	(1075200; 2572800; 2708880)	(271171.55; 514560; 654667.23)
RH05 - A	(1691773; 2702880; 3803520)	(525176.47; 675720; 741286.96)
RH05 - B	(1746507; 2796480; 4001280)	(541000; 699120; 780333.65)
RH05 - C	(2055840; 2378880; 3575030)	(457087.23; 645120; 737363.33)
RH06 - A	(474680; 830640; 1853867)	(140536.16; 166128; 519570.35)
RH06 - B	(294720; 183360; 995328)	(154466.18; 183360; 535302.45)
RH06 - C	(487680; 918120; 2700480)	(174577.05; 183624; 535720.66)
RH07 - A	(1385540; 3294420; 3461368)	(414172.8; 549070; 651977.75)
RH07 - B	(1342240; 3262224; 3251712)	(426428.57; 652444.8; 655652.31)
RH07 - C	(1096515; 2978400; 3191768)	(412994.74; 521763.5; 650342.4)
RH08 - A	(1273920; 2776320; 3347920)	(457676.87; 555264; 651642.09)
RH08 - B	(1098107; 2243520; 3209280)	(336401.52; 493986.06; 636960)
RH08 - C	(921600; 662400; 789320)	(501120; 662400; 669774.81)
RH09 - A	(192167; 631440; 739320)	(90895.61; 126288; 162562.97)
RH09 - B	(275200; 764880; 829360)	(96083.33; 152976; 181971.97)
RH10 - A	(735520; 1616640; 1817600)	(267609.41; 269440; 490047.56)
RH10 - B	(1019360; 1751040; 2146647)	(287829.5; 291840; 586917.36)
RH10 - C	(699944; 1351680; 1783051)	(264343.48; 270336; 571541.8)
RH11 - A	(197808; 951840; 1762720)	(122427.9; 321748.73; 451127.63)
RH11 - B	(2633222; 1308800; 1784016)	(75355.43; 261760; 438415.57)
RH11 - C	(182600; 937440; 1737280)	(84276.92; 299780.95; 441291.8)
RH12 - A	(896640; 2347200; 2483600)	(361937.45; 469440; 481483.98)
RH12 - B	(888000; 1974720; 2135680)	(260314.84; 394944; 451741.54)
RH12 - C	(829440; 1799040; 2135040)	(356624.63; 399786.67; 453560)
RH14 - A	(386213; 902880; 906480)	(89420.8; 128982.86; 175713.62)
RH14 - B	(404720; 656352; 822000)	(82760; 121922.97; 159956.76)
RH14 - C	(357360; 733968; 847920)	(88559.68; 122328; 164386.52)
RH15 - A	(931360; 1603680; 1952160)	(155840; 267280; 344498.82)
RH15 - B	(950400; 1190400; 1458560)	(113280; 198400; 343636.36)
RH16 - A	(346080; 1323360; 1383840)	(108547.61; 220560; 297738.13)
RH16 - B	(321120; 1200960; 1242720)	(127249.66; 240192; 306389.45)

RH17 - A	(1036800; 2304000; 2380800)	(255091.76; 613377.7; 661237.67)
UN01 - A	(1420000; 3062000; 3140333)	(454411.76; 612400; 727607.4)
UN01 - B	(1270667; 3204000; 3326000)	(453650.67; 605480.31; 626580.65)
UN01 - C	(992333; 1550000; 3094333)	(449358.49; 516666.67; 624438.07)
UN02 - A	(2299000; 3138000; 4862333)	(630821.05; 697333.33; 1119386.09)
UN02 - B	(2497000; 5573000; 4973333)	(846683.54; 1114600; 1173333.33)
UN02 - C	(1550000; 2839000; 4795667)	(745388.1; 1044229.89; 1127166.94)
UN03 - A	(1962667; 3149000; 4414000)	(626937.2; 737326.83; 1007533.98)
UN03 - B	(720667; 1514000; 4222667)	(577421.05; 563348.84; 905975.34)
UN03 - C	(1990000; 3263000; 4427333)	(626672.3; 705513.51; 906666.67)
UN04 - A	(2287000; 5726000; 6032667)	(751856.82; 954333.33; 1190146.63)
UN04 - B	(1936667; 5143000; 5821000)	(814921.35; 1054974.36; 1193801.05)
UN04 - C	(1388333; 3211000; 5479333)	(849684.21; 1284400; 1332800)
UN05 - A	(383000; 2354000; 4140000)	(642000; 717409.52; 1026909.09)
UN05 - B	(1498000; 3668000; 4389333)	(657372.78; 815111.11; 1028989.25)
UN05 - C	(860333; 2448000; 4176667)	(703797.15; 900413.79; 1039216.78)

## APÊNDICE C

Tabela 3 – Resultados otimistas de eficiência modelagem *fuzzy* DEA-BCC

DMU	$\alpha = 0,0$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,4$	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,8$	$\alpha = 1,0$
EDM1 - A	1	1	1	1	1	1
EDM1 - B	1	1	1	1	1	1
EDM1 - C	1	1	1	1	1	1
EDM2 - A	0.606059802	0.798475037	0.849067765	0.897775124	0.791431005	0.93073552
EDM2 - B	0.49459561	0.73060731	0.760574537	0.808404946	0.845978842	0.847505398
EDM2 - C	0.504978313	0.532600298	0.575241055	0.584958963	0.67932424	0.79287178
EDM3 - A	0.891303604	0.905938858	0.915914272	1	1	1
EDM3 - B	0.804471765	0.799435027	0.728968939	0.800245322	0.771010501	0.768781774
EDM3 - C	0.873891548	0.889562268	0.847487122	0.915032296	0.974268273	0.979429193
HS04 - A	0.910388915	1	1	1	0.816028297	0.747290269
HS04 - B	1	0.967067669	0.928581015	0.871363807	1	0.787736201
HS04 - C	1	1	1	1	1	1
RH01 - A	0.717952268	0.800527884	0.810092324	0.857859016	0.925153041	0.983331593
RH01 - B	1	0.907730288	0.917174637	0.971424923	0.956374097	0.954016847
RH01 - C	0.817899781	1	0.690667446	1	1	0.917980715
RH02 - A	0.9010894	0.919638749	1	1	1	1
RH02 - B	1	1	1	1	1	1
RH02 - C	1	1	1	1	1	1
RH03 - A	0.876931249	0.805331333	0.802810532	0.806046829	0.829988463	0.867538324
RH03 - B	0.794149368	0.802933359	0.866644668	0.806155575	0.797375946	0.839176873
RH03 - C	1	1	1	1	1	1
RH04 - A	0.614741548	0.658881755	0.750379454	0.831932343	1	1
RH04 - B	0.7089607	0.813744413	0.809749018	0.835805738	0.876055985	0.90852981
RH04 - C	0.863809743	0.877825877	0.888974155	0.939384947	0.914661085	0.941781472
RH05 - A	1	1	1	1	1	1
RH05 - B	1	1	1	1	1	1
RH05 - C	1	1	1	1	1	1
RH06 - A	0.654097172	0.684485742	0.713630661	0.944130361	0.898054957	0.858349032
RH06 - B	0.871467565	1	1	1	1	1
RH06 - C	0.540142491	0.586308267	0.955589471	0.975525439	0.921868512	0.883708084
RH07 - A	0.981606049	1	1	1	1	1
RH07 - B	0.861068943	0.917100078	1	1	1	1
RH07 - C	1	1	1	1	1	0.916695248
RH08 - A	1	1	1	1	0.984623534	0.921419038
RH08 - B	0.686918649	0.684913245	0.683825669	0.672711618	0.739018463	0.769293065
RH08 - C	1	1	1	1	1	1
RH09 - A	1	1	1	1	1	1
RH09 - B	0.908759659	0.931915021	0.959593926	0.997713296	1	1
RH10 - A	0.817816193	0.841173863	0.898622275	0.953489105	0.884467002	0.774146664
RH10 - B	0.832378848	0.859546285	0.86673689	0.994722109	0.898830556	0.827210559
RH10 - C	0.750241875	0.752314248	0.741310696	0.735023507	0.751497705	0.75333548
RH11 - A	0.734061212	0.871728469	0.866150204	0.893191394	0.928578874	0.944612853
RH11 - B	1	1	1	1	0.818921695	0.747233602
RH11 - C	0.833318978	0.837552304	0.834188035	0.816685556	0.833054137	0.872021046
RH12 - A	1	1	1	1	1	1
RH12 - B	0.893995938	0.934236508	0.879641276	0.954249609	0.966344304	1
RH12 - C	1	0.988422349	0.961427562	0.938496688	0.914683612	0.891578145
RH14 - A	1	1	1	1	1	1
RH14 - B	1	1	1	1	1	1
RH14 - C	1	1	1	1	1	1
RH15 - A	0.721660478	0.705156616	0.701290335	0.743421085	0.71397043	0.731938239
RH15 - B	0.671293652	0.643726606	0.645956046	0.642182116	0.609911339	0.650784335
RH16 - A	0.7251229	0.743738291	0.767002422	0.783899589	0.771711868	0.823399099

RH16 - B	0.801736148	0.805950459	0.810370209	0.808517664	0.796138155	0.846471989
RH17 - A	0.807164227	0.956358236	1	1	1	1
UN01 - A	1	1	1	0.94111916	0.957369559	0.901442714
UN01 - B	0.85619632	0.844185072	0.850581165	0.863149167	0.858223902	0.850904272
UN01 - C	0.960891582	0.87379365	0.819373353	0.795076207	0.803344788	0.777394079
UN02 - A	1	0.877357812	0.816175149	0.75152269	0.753775448	0.759810765
UN02 - B	1	1	1	1	1	1
UN02 - C	0.96119534	0.962412031	0.957042567	0.999529346	1	1
UN03 - A	0.838039485	0.812037901	0.807239737	0.805346025	0.808495872	0.786965035
UN03 - B	0.789042334	0.756572249	0.74387465	0.747687926	0.756518728	0.702907249
UN03 - C	0.838581751	0.822147835	0.801533697	0.793210278	0.802666211	0.822642061
UN04 - A	0.918708984	0.979567133	1	1	1	1
UN04 - B	0.992647184	0.978832431	0.974886437	0.974560306	0.979789877	1
UN04 - C	1	1	1	1	1	1
UN05 - A	1	1	1	1	1	1
UN05 - B	0.954119233	0.937126788	0.909138022	0.903029166	0.887106581	0.868554517
UN05 - C	1	1	1	0.971480671	0.920299106	0.873252039

## APÊNDICE D

Tabela 4 – Resultados pessimistas de eficiência modelagem *fuzzy* DEA-BCC

DMU	$\alpha = 0,0$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,4$	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,8$	$\alpha = 1,0$
EDM1 - A	0.863390739	1	1	1	1	1
EDM1 - B	0.889340156	1	1	1	1	1
EDM1 - C	1	1	1	1	1	1
EDM2 - A	0.696155477	0.762760506	0.792173059	0.937298147	0.825170478	0.93073552
EDM2 - B	0.527713688	0.657545086	0.64664102	0.777996373	0.717011552	0.847505398
EDM2 - C	0.683849891	0.733149714	0.737082598	0.775632578	0.802275243	0.79287178
EDM3 - A	1	1	1	1	1	1
EDM3 - B	1	1	1	0.91720039	0.813128366	0.768781774
EDM3 - C	1	1	1	1	0.979458157	0.979429193
HS04 - A	1	0.886110516	0.894765396	0.794076412	0.767501645	0.747290269
HS04 - B	0.932990019	0.831427258	0.819296021	0.791997856	0.782417561	0.787736201
HS04 - C	1	1	1	1	1	1
RH01 - A	1	0.984940951	1	1	0.974986644	0.983331593
RH01 - B	1	1	0.990743793	0.953690444	0.935866591	0.954016847
RH01 - C	1	1	1	1	0.969548853	0.917980715
RH02 - A	0.921216373	1	1	1	1	1
RH02 - B	1	1	1	1	1	1
RH02 - C	0.963338127	1	1	1	1	1
RH03 - A	0.763294479	0.862953143	0.856405161	0.867770986	0.870655054	0.867538324
RH03 - B	0.714631596	0.807240372	0.817113165	0.827260522	0.837710915	0.839176873
RH03 - C	1	1	1	1	1	1
RH04 - A	1	1	1	1	1	1
RH04 - B	1	1	1	1	0.971188637	0.90852981
RH04 - C	1	1	1	1	0.978290029	0.941781472
RH05 - A	1	1	1	1	1	1
RH05 - B	1	1	1	1	1	1
RH05 - C	0.841480556	0.958353349	0.984086675	1	1	1
RH06 - A	1	1	1	1	0.964242261	0.858349032
RH06 - B	1	1	1	1	1	1
RH06 - C	1	1	1	1	0.947597891	0.883708084
RH07 - A	1	1	1	1	1	1
RH07 - B	0.823136228	0.9627478	1	1	1	1
RH07 - C	0.887407214	0.936085153	0.94897033	0.952468518	0.935146999	0.916695248
RH08 - A	0.901381739	0.952970982	0.898262511	0.878022405	0.888258222	0.921419038
RH08 - B	0.818279775	0.765960324	0.752330798	0.744247015	0.758633642	0.769293065
RH08 - C	1	1	1	1	1	1
RH09 - A	1	1	1	1	1	1
RH09 - B	1	1	1	1	1	1
RH10 - A	1	1	0.986671864	0.940100837	0.849906678	0.774146664
RH10 - B	1	1	1	0.996709406	0.900698863	0.827210559
RH10 - C	1	1	1	0.936497549	0.838704345	0.75333548
RH11 - A	0					
RH11 - A	0.754055995	0.919762121	0.91229508	0.914093773	0.945966167	0.944612853
RH11 - B	0.796085258	0.837381621	0.828067002	0.810451831	0.786612469	0.747233602
RH11 - C	0.910242642	0.905529075	0.889872854	0.87614434	0.859691692	0.872021046
RH12 - A	1	1	1	1	1	1
RH12 - B	0.897723882	0.896717923	0.923059104	0.954185874	0.980350457	1
RH12 - C	0.779049042	0.880458882	0.881424717	0.889201964	0.894298793	0.891578145
RH14 - A	1	1	1	1	1	1
RH14 - B	1	1	1	1	1	1
RH14 - C	1	1	1	1	1	1
RH15 - A	1	0.911854248	0.878568382	0.852415125	0.785125164	0.731938239
RH15 - B	1	0.770263	0.738821128	0.701224134	0.65580844	0.650784335



RH16 - A	0.781268372	0.805311599	0.810948903	0.831347645	0.804746014	0.823399099
RH16 - B	0.765400097	0.768287079	0.793130358	0.819101451	0.835993911	0.846471989
RH17 - A	1	1	1	1	1	1
UN01 - A	0.811077712	0.87832345	0.860881771	0.939638679	0.954643956	0.901442714
UN01 - B	0.838322198	0.836374289	0.77324548	0.804962389	0.817108296	0.850904272
UN01 - C	0.754738564	0.822606831	0.771963934	0.756853963	0.759891746	0.777394079
UN02 - A	0.811389427	0.809510385	0.83254569	0.832655643	0.797333114	0.759810765
UN02 - B	0.89235447	0.966874141	0.971372081	1	1	1
UN02 - C	0.897048546	1	1	1	1	1
UN03 - A	0.789222763	0.810858035	0.826360536	0.830650643	0.81250852	0.786965035
UN03 - B	0.729927597	0.80442354	0.747968524	0.716077394	0.716389442	0.702907249
UN03 - C	0.700706848	0.74636469	0.780339238	0.962248027	0.826177569	0.822642061
UN04 - A	1	1	1	1	1	1
UN04 - B	1	1	1	1	1	1
UN04 - C	1	1	1	1	1	1
UN05 - A	1	1	1	1	0.932611804	1
UN05 - B	0.815002099	0.85042425	0.888561505	0.982001563	0.895672873	0.868554517
UN05 - C	0.908080283	0.783170721	0.794472574	0.849008153	0.879764505	0.873252039

## APÊNDICE E

Tabela 5 – Resultados otimistas de supereficiência modelagem *fuzzy* DEA-BCC

DMU	$\alpha = 0,0$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,4$	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,8$	$\alpha = 1,0$
EDM1 - A	0.971960943	1.1152581	1.11604185	0.98698694	1.008491951	1.091709998
EDM1 - B	1.07053027	1.082985243	1.092094937	1.105887842	1.131129371	1.181846656
EDM1 - C	1.127968857	1.149257174	1.185523746	1.242691652	1.529237523	1.491662918
EDM2 - A	0.606059802	0.798475037	0.849067765	0.897775124	0.791431005	0.93073552
EDM2 - B	0.49459561	0.73060731	0.760574537	0.808404946	0.845978842	0.847505398
EDM2 - C	0.732010954	0.532600298	0.575241055	0.584958963	0.67932424	0.79287178
EDM3 - A	0.891303604	0.905938858	0.915914272	0.866553715	0.917448747	0.889423171
EDM3 - B	0.804471765	0.799435027	0.728968939	0.800245322	0.771010501	0.768781774
EDM3 - C	0.873891548	0.889562268	0.847487122	0.915032296	0.974268273	0.979429193
HS04 - A	1.233132771	1.20419477	1.142504025	1.043649696	0.816028297	0.747290269
HS04 - B	1.018081948	0.967067669	0.928581015	0.871363807	1.015685167	0.787736201
HS04 - C	1.21133083	1.299265855	1.411435045	1.533504694	1.715382215	2.182115525
RH01 - A	0.717952268	0.800527884	0.810092324	0.857859016	0.925153041	0.983331593
RH01 - B	0.909310503	0.907730288	0.917174637	0.971424923	0.956374097	0.954016847
RH01 - C	0.821584789	0.744451603	0.690667446	1.0375	1.1	0.917980715
RH02 - A	0.9010894	0.919638749	0.942280011	1.072053626	1.046385918	1.037800686
RH02 - B	1.051032657	1.137073282	1.299225125	1.44444511	1.228793324	1.130016147
RH02 - C	0.994727615	1.067096663	1.011437825	1.052561592	1.016998084	1.035965697
RH03 - A	0.876931249	0.805331333	0.802810532	0.806046829	0.829988463	0.867538324
RH03 - B	0.794149368	0.802933359	0.866644668	0.806155575	0.797375946	0.839176873
RH03 - C	0.932040937	0.974691696	1.024697	1.089609853	1.138911572	1.203059349
RH04 - A	0.614741548	0.658881755	0.750379454	0.831932343	1.037977879	7.17125307
RH04 - B	0.7089607	0.813744413	0.809749018	0.835805738	0.876055985	0.90852981
RH04 - C	0.863809743	0.877825877	0.955137773	0.939384947	0.914661085	0.941781472
RH05 - A	1.220964622	1.219724047	1.236344189	1.19926656	1.177133751	1.152012104
RH05 - B	1.14280403	1.175258793	1.202605155	1.262285636	1.333836852	1.402725153
RH05 - C	1.307931121	1.273454613	1.158779963	1.087045946	1.048125221	1.0491202
RH06 - A	0.789429181	0.684485742	0.713630661	0.944130361	0.898054957	0.858349032
RH06 - B	0.928975014	1.084243669	1.072999842	1.099708218	1.267955419	3.521160822
RH06 - C	0.690085345	0.586308267	0.639717264	0.975525439	0.921868512	0.883708084
RH07 - A	0.981606049	1.165568114	1.379881688	1.484764204	1.560827049	1.830419609
RH07 - B	0.861068943	0.917100078	1.016644759	1.159505878	1.34038305	1.55561199
RH07 - C	1.029252875	1.099299643	1.124768736	1.107440608	0.999461035	0.916695248
RH08 - A	1.102627644	1.202041546	1.175261714	1.109647961	0.984623534	0.921419038
RH08 - B	0.686918649	0.684913245	0.683825669	0.672711618	0.739018463	0.769293065
RH08 - C	1.909655279	2.570441895	2.653294153	3.90368925	5.189912413	16.71489517
RH09 - A	1.105194941	1.233630755	1.14961716	1.161207525	1.174392714	1.128570132
RH09 - B	0.908759659	0.931915021	0.959593926	0.997713296	1.045557773	1.105849147
RH10 - A	0.817816193	0.841173863	0.898622275	0.953489105	0.884467002	0.774146664
RH10 - B	0.832378848	0.859546285	0.86673689	0.99200739	0.898830556	0.827210559
RH10 - C	0.750241875	0.752314248	0.741310696	0.735023507	0.751497705	0.75333548
RH11 - A	0.734061212	0.871728469	0.866150204	0.893191394	0.928578874	0.944612853
RH11 - B	7746.717434	1.887771793	1.397659433	1.048648458	0.818921695	0.747233602
RH11 - C	0.833318978	0.837552304	0.834188035	0.816685556	0.833054137	0.872021046
RH12 - A	1.319555108	1.276758943	1.252731808	1.189830819	1.162316187	1.128629327
RH12 - B	0.893995938	0.934236508	0.879641276	0.954249609	0.966344304	1.02140523
RH12 - C	1.019457977	0.988422349	0.961427562	0.938496688	0.914683612	0.891578145
RH14 - A	1.290724753	1.229098028	1.169294623	1.145033724	1.469434359	480
RH14 - B	1.085681522	1.15628031	1.230555953	1.361557559	1.501246728	1.702902469
RH14 - C	1.473366873	1.516908872	1.307582667	1.112628333	1.016123638	1.00873595
RH15 - A	0.721660478	0.705156616	0.701290335	0.743421085	0.71397043	0.731938239
RH15 - B	0.671293652	0.643726606	0.645956046	0.642182116	0.609911339	0.650784335
RH16 - A	0.7251229	0.743738291	0.767002422	0.783899589	0.771711868	0.823399099

RH16 - B	0.801736148	0.805950459	0.810370209	0.808517664	0.796138155	0.846471989
RH17 - A	0.807164227	0.956358236	1.034583314	1.148635172	1.347308565	1.820514396
UN01 - A	1.159175445	1.103329757	1.036949398	0.94111916	0.957369559	0.971844974
UN01 - B	0.85619632	0.844185072	0.850581165	0.863149167	0.858223902	0.850904272
UN01 - C	1.107467015	0.87379365	0.819373353	0.795076207	0.803344788	0.777394079
UN02 - A	1.020294748	0.877357812	0.815796024	0.75152269	0.753775448	0.759810765
UN02 - B	16746.65586	26256.14451	23486.84602	21299.78421	19527.441	9030.631871
UN02 - C	0.96119534	0.962412031	0.957042567	0.999529346	1.090942712	1.254482723
UN03 - A	0.838039485	0.812037901	0.807239737	0.805346025	0.808495872	0.786965035
UN03 - B	0.789042334	0.756572249	0.74387465	0.747687926	0.756518728	0.702907249
UN03 - C	0.838581751	0.822147835	0.801533697	0.793210278	0.802666211	0.822642061
UN04 - A	0.918708984	0.979567133	1.040463158	470.8523005	4251.15527	3598.423829
UN04 - B	0.992647184	0.978832431	0.974886437	0.974560306	0.979789877	1.0098232
UN04 - C	520.3891232	16306.16756	19161.06588	26822.49104	33710.08413	19967.72439
UN05 - A	1.048127608	1.142992348	1.074147964	1.077637233	1.056215501	1.014171782
UN05 - B	0.954119233	0.937126788	0.909138022	0.903029166	0.887106581	0.868554517
UN05 - C	1.129073581	1.091732233	1.036378647	0.971480671	0.920299106	0.873252039

## APÊNDICE F

**Tabela 6 – Resultados pessimistas de supereficiência modelagem *fuzzy* DEA-BCC**

DMU	$\alpha = 0,0$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,4$	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,8$	$\alpha = 1,0$
EDM1 - A	0.863390739	1.000973908	1.062913758	1.048210546	1.074224337	1.091709998
EDM1 - B	0.889340156	1.041762375	1.081124461	1.107746803	1.106871748	1.181846656
EDM1 - C	1.08817808	1.219921113	1.247293867	1.283174793	1.422683515	1.491662918
EDM2 - A	0.696155477	0.762760506	0.792173059	0.937298147	0.825170478	0.93073552
EDM2 - B	0.527713688	0.657545086	0.64664102	0.777996373	0.717011552	0.847505398
EDM2 - C	0.683849891	0.733149714	0.737082598	0.775632578	0.802275243	0.79287178
EDM3 - A	1.142823981	1.186687759	1.185596463	1.174632031	1.021283625	0.889423171
EDM3 - B	1.061377509	1.014238244	1.000361299	0.91720039	0.813128366	0.768781774
EDM3 - C	1.172468565	1.138499803	1.093836767	1.019459743	0.97390704	0.979429193
HS04 - A	1.043172172	0.886110516	0.894765396	0.794076412	0.767501645	0.747290269
HS04 - B	0.932990019	0.831427258	0.819296021	0.791997856	0.782417561	0.787736201
HS04 - C	1.068590115	1.359670295	1.6047395	1.817123297	2.00849419	2.182115525
RH01 - A	1.033820835	0.984940951	1.009450511	1.017544474	0.974986644	0.983331593
RH01 - B	1.194669885	1.114606756	0.990743793	0.953690444	0.935866591	0.954016847
RH01 - C	1.497149247	1.294690581	1.141941244	1.040558494	0.969548853	0.917980715
RH02 - A	0.921216373	1.004022786	0.999188645	1.006543448	1.037805474	1.037800686
RH02 - B	1.458308538	1.345376547	1.258236776	1.194172626	1.126918386	1.130016147
RH02 - C	0.963338127	1.04099215	1.058980269	1.045463641	1.03256541	1.035965697
RH03 - A	0.763294479	0.862953143	0.856405161	0.867770986	0.870655054	0.867538324
RH03 - B	0.714631596	0.807240372	0.817113165	0.827260522	0.837710915	0.839176873
RH03 - C	1.213662028	1.180124163	1.11439319	1.174676408	1.189215979	1.203059349
RH04 - A	5.369221966	5.880206047	6.135246456	6.453165327	6.814853384	7.17125307
RH04 - B	1.109430077	1.087235658	1.064661629	1.029693799	0.971188637	0.90852981
RH04 - C	1.147406929	1.122249094	1.056354925	1.012652497	0.978290029	0.941781472
RH05 - A	1.047915537	1.11623093	1.184018808	1.191529315	1.172787862	1.152012104
RH05 - B	1.047058405	1.134934167	1.210282082	1.294302946	1.318474251	1.402725153
RH05 - C	0.841480556	0.958353349	0.984086675	1.0085795	1.028516648	1.0491202
RH06 - A	1.137291979	1.142191428	1.135694238	1.075634728	0.964242261	0.858349032
RH06 - B	2.810900526	5.272560183	3.37493535	2.968772436	3.19118642	3.521160822
RH06 - C	1.212328738	1.216163293	1.226254676	1.083446184	0.947597891	0.883708084
RH07 - A	1.188731947	1.531864969	1.698545792	1.798161781	1.816094754	1.830419609
RH07 - B	0.823136228	0.9627478	1.025066819	1.122113667	1.356849042	1.55561199
RH07 - C	0.887407214	0.936085153	0.94897033	0.952468518	0.935146999	0.916695248
RH08 - A	0.901381739	0.952970982	0.898262511	0.878022405	0.888258222	0.921419038
RH08 - B	0.818279775	0.765960324	0.752330798	0.744247015	0.758633642	0.769293065
RH08 - C	2.724604342	26.0419084	19.49230604	17.58968121	16.89033699	16.71489517
RH09 - A	1.30536944	1.343650604	1.262717613	1.162478944	1.145316685	1.128570132
RH09 - B	1.041245562	1.047543648	1.057767858	1.076499581	1.104169303	1.105849147
RH10 - A	1.084736718	1.024453547	0.986671864	0.940100837	0.849906678	0.774146664
RH10 - B	1.202592321	1.149937015	1.038951439	0.996709406	0.900698863	0.827210559
RH10 - C	1.092208987	1.085457123	1.030249514	0.936497549	0.838704345	0.75333548
RH11 - A	0.912214911	0.919762121	0.91229508	0.914093773	0.945966167	0.944612853
RH11 - B	0.796085258	0.837381621	0.828067002	0.810451831	0.786612469	0.747233602
RH11 - C	0.910242642	0.905529075	0.889872854	0.87614434	0.859691692	0.872021046
RH12 - A	1.281016166	1.263488759	1.088887452	1.107323288	1.114726554	1.128629327
RH12 - B	0.897723882	0.896717923	0.923059104	0.954185874	0.980350457	1.02140523
RH12 - C	0.779049042	0.880458882	0.881424717	0.889201964	0.894298793	0.891578145
RH14 - A	419	431.2	443.4	455.6	467.8	480
RH14 - B	1.695526298	1.78952784	1.862366792	1.634566959	1.667424657	1.702902469
RH14 - C	1.00785571	1.007244581	1.016006958	1.019107501	1.014952738	1.00873595
RH15 - A	1.111770044	0.911854248	0.878568382	0.852415125	0.785125164	0.731938239
RH15 - B	1.519892472	0.770263	0.738821128	0.701224134	0.65580844	0.650784335
RH16 - A	0.781268372	0.805311599	0.810948903	0.831347645	0.804746014	0.823399099

RH16 - B	0.765400097	0.768287079	0.793130358	0.819101451	0.835993911	0.846471989
RH17 - A	3.309989428	2.715758681	2.296620958	2.053477193	1.96898304	1.820514396
UN01 - A	0.811077712	0.87832345	0.860881771	0.939638679	0.954643956	0.971844974
UN01 - B	0.838322198	0.836374289	0.77324548	0.804962389	0.817108296	0.850904272
UN01 - C	0.754738564	0.822606831	0.771963934	0.756853963	0.759891746	0.777394079
UN02 - A	0.811389427	0.809510385	0.83254569	0.832655643	0.797333114	0.759810765
UN02 - B	0.89235447	0.966874141	0.971372081	2166.427353	9819.977195	9030.631871
UN02 - C	0.897048546	1.02705262	1.129335643	1.191657817	1.222797771	1.254482723
UN03 - A	0.789222763	0.810858035	0.826360536	0.830650643	0.81250852	0.786965035
UN03 - B	0.729927597	0.80442354	0.747968524	0.716077394	0.716389442	0.702907249
UN03 - C	0.700706848	0.74636469	0.780339238	0.962248027	0.826177569	0.822642061
UN04 - A	38129.00467	26367.81146	34028.00866	22504.3796	16069.12999	3598.423829
UN04 - B	1.728465909	1.435132817	1.275683045	1.100324693	1.016711667	1.0098232
UN04 - C	86776.92333	70630.26144	74596.0464	48022.66229	50390.07451	19967.72439
UN05 - A	2.159494855	1.613884656	1.303833599	1.18529632	0.932611804	1.014171782
UN05 - B	0.815002099	0.85042425	0.888561505	0.982001563	0.895672873	0.868554517
UN05 - C	0.908080283	0.783170721	0.794472574	0.803842899	0.879764505	0.873252039

## APÊNDICE G

**Tabela 7 – Eficiências e Supereficiências (Otimista/pessimista) para cada DMU**

<b>DMU</b>	<b>Eficiência</b>	<b>Supereficiência</b>
EDM1 - A	95%	95%
EDM1 - B	96%	96%
EDM1 - C	100%	162%
EDM2 - A	62%	62%
EDM2 - B	42%	42%
EDM2 - C	25%	25%
EDM3 - A	100%	137%
EDM3 - B	75%	75%
EDM3 - C	98%	98%
HS04 - A	72%	72%
HS04 - B	69%	69%
HS04 - C	100%	288%
RH01 - A	97%	97%
RH01 - B	94%	94%
RH01 - C	95%	95%
RH02 - A	97%	97%
RH02 - B	100%	158%
RH02 - C	99%	99%
RH03 - A	67%	67%
RH03 - B	60%	60%
RH03 - C	100%	151%
RH04 - A	100%	133%
RH04 - B	94%	94%
RH04 - C	97%	97%
RH05 - A	100%	127%
RH05 - B	100%	148%
RH05 - C	93%	93%
RH06 - A	90%	90%
RH06 - B	100%	-62%
RH06 - C	91%	91%
RH07 - A	100%	381%
RH07 - B	92%	92%
RH07 - C	87%	87%
RH08 - A	83%	83%
RH08 - B	43%	43%
RH08 - C	100%	147%
RH09 - A	100%	155%
RH09 - B	100%	118%
RH10 - A	82%	82%
RH10 - B	88%	88%
RH10 - C	74%	83%
RH11 - A	77%	82%
RH11 - B	67%	100%
RH11 - C	73%	73%
RH12 - A	100%	131%
RH12 - B	88%	88%
RH12 - C	76%	76%
RH14 - A	100%	122%
RH14 - B	100%	938%
RH14 - C	100%	102%
RH15 - A	58%	58%
RH15 - B	32%	32%
RH16 - A	56%	56%

RH16 - B	59%	59%
RH17 - A	100%	194%
UN01 - A	80%	80%
UN01 - B	64%	64%
UN01 - C	58%	58%
UN02 - A	61%	61%
UN02 - B	94%	94%
UN02 - C	96%	96%
UN03 - A	60%	60%
UN03 - B	46%	46%
UN03 - C	60%	60%
UN04 - A	100%	116%
UN04 - B	100%	233%
UN04 - C	100%	150%
UN05 - A	98%	98%
UN05 - B	77%	77%
UN05 - C	74%	74%

## APÊNDICE H

**Tabela 9 – Ranking de máquina por Supereficiência**

<b>DMU</b>	<b>Supereficiência</b>	<b>OEE</b>
RH14 - B	938%	51%
RH07 - A	381%	67%
HS04 - C	288%	55%
UN04 - B	233%	58%
RH17 - A	194%	84%
EDM1 - C	162%	45%
RH06 - B	162%	43%
RH02 - B	158%	76%
RH09 - A	155%	54%
RH03 - C	151%	74%
UN04 - C	150%	67%
RH05 - B	148%	83%
RH08 - C	147%	78%
EDM3 - A	137%	32%
RH04 - A	133%	68%
RH12 - A	131%	83%
RH05 - A	127%	81%
RH14 - A	122%	54%
RH09 - B	118%	64%
UN04 - A	116%	52%
RH14 - C	102%	52%
RH11 - B	100%	51%
RH02 - C	99%	56%
EDM3 - C	98%	49%
UN05 - A	98%	46%
RH01 - A	97%	62%
RH02 - A	97%	52%
RH04 - C	97%	73%
EDM1 - B	96%	39%
UN02 - C	96%	59%
RH01 - C	95%	19%
EDM1 - A	95%	36%
RH01 - B	94%	50%
RH04 - B	94%	71%
UN02 - B	94%	61%
RH05 - C	93%	76%
RH07 - B	92%	80%
RH06 - C	91%	49%
RH06 - A	90%	47%
RH10 - B	88%	54%
RH12 - B	88%	70%
RH07 - C	87%	63%
RH08 - A	83%	65%
RH10 - C	83%	51%
RH10 - A	82%	53%
RH11 - A	82%	63%
UN01 - A	80%	55%
UN05 - B	77%	52%
RH12 - C	76%	71%
EDM3 - B	75%	40%
UN05 - C	74%	57%
RH11 - C	73%	59%
HS04 - A	72%	44%



HS04 - B	69%	49%
RH03 - A	67%	68%
UN01 - B	64%	54%
EDM2 - A	62%	51%
UN02 - A	61%	38%
RH03 - B	60%	64%
UN03 - A	60%	52%
UN03 - C	60%	52%
RH16 - B	59%	56%
RH15 - A	58%	45%
UN01 - C	58%	56%
RH16 - A	56%	51%
UN03 - B	46%	44%
RH08 - B	43%	58%
EDM2 - B	42%	43%
RH15 - B	32%	35%
EDM2 - C	25%	42%

## APÊNDICE I

**Tabela 10 – Ranking de máquinas por OEE**

<b>DMU</b>	<b>Supereficiência</b>	<b>OEE</b>
RH17 - A	194%	84%
RH05 - B	148%	83%
RH12 - A	131%	83%
RH05 - A	127%	81%
RH07 - B	92%	80%
RH08 - C	147%	78%
RH02 - B	158%	76%
RH05 - C	93%	76%
RH03 - C	151%	74%
RH04 - C	97%	73%
RH04 - B	94%	71%
RH12 - C	76%	71%
RH12 - B	88%	70%
RH04 - A	133%	68%
RH03 - A	67%	68%
RH07 - A	381%	67%
UN04 - C	150%	67%
RH08 - A	83%	65%
RH09 - B	118%	64%
RH03 - B	60%	64%
RH07 - C	87%	63%
RH11 - A	82%	63%
RH01 - A	97%	62%
UN02 - B	94%	61%
UN02 - C	96%	59%
RH11 - C	73%	59%
UN04 - B	233%	58%
RH08 - B	43%	58%
UN05 - C	74%	57%
RH02 - C	99%	56%
RH16 - B	59%	56%
UN01 - C	58%	56%
HS04 - C	288%	55%
UN01 - A	80%	55%
RH09 - A	155%	54%
RH14 - A	122%	54%
RH10 - B	88%	54%
UN01 - B	64%	54%
RH10 - A	82%	53%
UN04 - A	116%	52%
RH14 - C	102%	52%
RH02 - A	97%	52%
UN05 - B	77%	52%
UN03 - A	60%	52%
UN03 - C	60%	52%
RH14 - B	938%	51%
RH11 - B	100%	51%
RH10 - C	83%	51%
EDM2 - A	62%	51%
RH16 - A	56%	51%
RH01 - B	94%	50%
EDM3 - C	98%	49%
RH06 - C	91%	49%

HS04 - B	69%	49%
RH06 - A	90%	47%
UN05 - A	98%	46%
EDM1 - C	162%	45%
RH15 - A	58%	45%
HS04 - A	72%	44%
UN03 - B	46%	44%
RH06 - B	162%	43%
EDM2 - B	42%	43%
EDM2 - C	25%	42%
EDM3 - B	75%	40%
EDM1 - B	96%	39%
UN02 - A	61%	38%
EDM1 - A	95%	36%
RH15 - B	32%	35%
EDM3 - A	137%	32%
RH01 - C	95%	19%

## APÊNDICE J

Tabela 11 – Valores alvos de redução de *Input* para garantir eficiência

<b>MU</b>	<b>Parada Programada (min)</b>	<b>Downtime (min)</b>	<b>Pequenas Paradas (ocorrências)</b>	<b>Perda (unidade)</b>	<b>Velocidade Média Nominal (unidade/min)</b>
M1 - A	912	1318.6	67.45	4089.75	923.0865
M1 - B	1142.4	1204.8	39.36	2773.44	1080.336
M2 - A	1001.3	269.7	109.74	3226.48	1603.2952
M2 - B	638.4	355.74	66.78	2672.88	1082.529
M2 - C	600	122.25	24.5	792.5	625
M3 - B	1260	622.5	105	4297.5	1125
M3 - C	1355.34	735	144.06	4276.72	1687.7756
004 - A	691.2	705.6	150.48	12548.16	2260.8
004 - B	1262.7	360.18	70.38	7180.83	2061.8856
I01 - A	931.2	838.08	10.67	20009.16	1597.784
I01 - B	902.4	1049.98	8.46	14030.44	1548.368
I01 - C	2907	223.25	0	13832	1628.3
I02 - A	931.2	1040.81	20.37	6805.52	1136.84
I02 - C	950.4	964.26	24.75	6884.46	1169.9325
I03 - A	897.8	373.19	24.12	12545.75	832.1534
I03 - B	864	390	18.6	9378	761.7
I04 - B	902.4	562.12	57.34	16393.6	1384.714
I04 - C	931.2	539.32	82.45	14247.36	1426.288
I05 - C	1478.7	332.94	37.2	9706.41	1641.171
I06 - A	864	958.5	77.4	12494.7	646.02
I06 - C	873.6	940.03	55.51	18222.75	692.146
I07 - B	883.2	345	33.12	30110.68	1556.824
I07 - C	539.4	782.13	79.17	29194.59	1478.13
I08 - A	796.8	629.14	21.58	38191.62	1472.586
I08 - B	507.4	351.31	19.35	19660.03	762.949
I10 - A	393.6	1020.08	71.34	22994.44	879.5894
I10 - B	422.4	1043.68	42.24	18267.04	981.7016
I10 - C	710.4	822.14	47.36	15720.56	794.76
I11 - A	1493.8	377.3	18.48	6812.96	820.82
I11 - B	643.2	740.35	52.26	10953.83	714.22
I11 - C	1357.07	413.91	32.85	13345.86	778.18
I12 - B	844.8	570.24	4.4	11011.44	1031.36
I12 - C	912	425.6	47.12	13740.04	890.72
I15 - A	278.4	862.46	35.96	47108.76	670.77
I15 - B	153.6	522.88	29.76	21567.04	350.32
I16 - A	268.8	661.92	190.96	45433.92	504
I16 - B	566.4	485.57	116.23	25754.09	531
J01 - A	768	480.8	266.4	9380	1935
J01 - B	524.8	518.4	190.08	11256.96	1602.5216
J01 - C	1113.6	266.8	62.06	8435.52	1160
J02 - A	732	738.71	82.35	13050.95	2253.6084
J02 - B	902.4	686.2	228.42	15926.42	3744.3302
J02 - C	1972.8	398.4	85.44	9018.24	3615.6288
J03 - A	786	386.4	105.6	17533.8	1703.412
J03 - B	952.2	257.6	35.42	6005.76	1208.8386
J03 - C	684	475.2	109.2	8934.6	1694.592
J05 - A	1749.3	656.6	169.54	4858.84	3208.8042
J05 - B	924	575.96	119.35	11824.12	2493.4063
J05 - C	1520.7	323.38	76.96	6262.62	2442