

JOÃO HENRIQUE DE SOUZA GIACOMELLI

**Análise envoltória de dados multiobjetiva no cálculo do índice de valor agregado: uma
análise da indústria de *medical devices***

Guaratinguetá - SP
2017

João Henrique de Souza Giacomelli

Análise envoltória de dados multiobjetiva no cálculo do índice de valor agregado: uma análise da indústria de *medical devices*

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

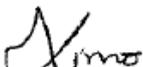
Guaratinguetá - SP
2017

G429a Giacomelli, João Henrique de S.
Análise envoltória de dados multiobjetiva no cálculo do índice de valor agregado / João Henrique de S. Giacomelli – Guaratinguetá, 2017.
48 f : il.
Bibliografia: f. 43-45

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.
Orientador: Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva

1. Análise de envoltória de dados. 2. Processo decisório por critério múltiplo. 3. Processos de fabricação. I. Título.

CDU 65.012.4


Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

JOÃO HENRIQUE DE SOUZA GIACOMELLI

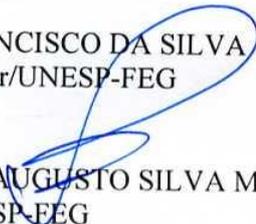
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

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


Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


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


Prof. Dr. FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS
UNESP-FEG


Prof. Me. ERICA XIMENES DIAS
Membro Externo

Dezembro/2017

DADOS CURRICULARES

JOÃO HENRIQUE DE SOUZA GIACOMELLI

NASCIMENTO 18.10.1990 – São José dos Campos / SP

FILIAÇÃO Valderci José Giacomelli
Tereza Cristina de Souza Giacomelli

2010/2017 Curso de Graduação
Engenharia Mecânica - Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”- Campus de Guaratinguetá

Dedico este trabalho de modo especial aos meus pais, Valderci e Cristina, que sempre me forneceram educação, suporte e formação de caráter como homem.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a *Deus*, que me deu o privilégio de nascer em uma família que sempre me proporcionou conforto e educação de ponta e qualidade, e graças a Ele, pude graduar-me Engenheiro Mecânico.

Agradeço a *Nossa Senhora Aparecida*, por ter sempre me acompanhado desde o Vestibular até os dias de hoje, sempre me consolando e servindo de alento nos momentos mais difíceis.

Agradecimentos aos meus pais, *Valderci e Cristina*, que nunca deixaram de me suportar e sempre me deixaram livre para realizar as minhas escolhas e desenvolver a maturidade necessária. Sou grato também por sempre terem me proporcionado educação em excelentes colégios e sempre preenchendo minha vida de conhecimento e valores que eles entendiam que viriam a ser necessários no futuro e que moldaram meu caráter.

Ao meu irmão, *João Paulo*, meu companheiro desde sempre, que também tive o privilégio de ter sido meu companheiro de República na FEG, sempre andando na minha frente e me mostrando o caminho das pedras na vida e na Universidade.

Ao *Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva*, pelo conhecimento transmitido e também pelo suporte dado em todos estes meses de Trabalho de Graduação. Sou grato por ter me aceitado como seu orientado.

A *República HRomeu*, e todos que comigo ali moraram. Sem dúvida esta vivência foi essencial e teve grande influência na formação da minha personalidade e de quem sou hoje. Ali conheci amigos que levarei para a vida.

A *Regina Celia Ferreira da Silva Souza, Diretora Técnica Acadêmica* da FEG, que durante os meus anos a frente do Diretório Acadêmico ensinou-me muito sobre a dinâmica de uma Universidade pública e como ao sistema funciona, sempre prezando pelo puro desenvolvimento acadêmico dos discentes e pela promoção do nome da Faculdade sociedade afora.

“O primeiro gole das ciências naturais pode até torná-lo
ateu. Mas, no fundo do mesmo copo, Deus o aguarda.”
Werner Heisenberg

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo aplicar um modelo Multiobjetivo de Análise Envoltória de Dados, a fim de identificar o Índice de Valor Agregado (IVA) nos processos de manufatura de uma Multinacional do segmento médico-hospitalar, localizada em São José dos Campos-SP. Mediu-se o IVA pelo método tradicionalmente aplicado pela Empresa estudada, e, também, por meio da otimização de um modelo Multiobjetivo de Análise Envoltória de Dados (MCDEA), considerando-se as Unidades Tomadoras de Decisão (Decision Making Units – DMUs) como sendo os processos de manufatura. Com o modelo MCDEA, foram identificados os *inputs* e *outputs* mais importantes para cada DMU ineficiente, visando torná-la eficiente. Os gestores da Empresa avaliaram que o novo indicador para o IVA, determinado por meio do modelo MCDEA mostrou-se mais vantajoso, e permitiu opções de decisões mais efetivas para melhorar a eficiência dos processos de manufatura. Os gestores apontaram como vantagem do novo indicador o fato dele considerar um número maior de parâmetros envolvidos nos processos de manufatura estudados, com relação ao cálculo tradicional do IVA.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de Valor Agregado. Eficiência. Processos de Manufatura. MCDEA. *Lean*. Data Envelopment Analysis.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to apply a Multiobjective Data Envelopment Analysis model to identify the Added Value Index (AVI) in the manufacturing processes of a Multinational of the medical-hospital segment, located in São José dos Campos-SP. AVI was measured by the method traditionally applied by the Company under study, and also by means of the optimization of a Multiobjective Data Envelopment Analysis (MCDEA) model, considering the Decision Making Units (DMUs) as being the manufacturing processes. With the MCDEA model, the most important inputs and outputs were identified for each inefficient DMU in order to make it efficient. The Company's managers evaluated that the new AVI indicator, determined through the MCDEA model, was more advantageous, and allowed more effective decision options to improve the efficiency of manufacturing processes. The managers pointed out as advantage of the new indicator the fact that it considers a greater number of parameters involved in the manufacturing processes studied, in relation to the traditional calculation of the AVI.

KEYWORDS: Added Value Index. Efficiency. Process Manufacturing. MCDEA. Lean. Data Envelopment Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação da Pesquisa.....	13
Figura 2 – Documentos sobre <i>Data Envelopment Analysis</i> por ano.	15
Figura 3 – Publicações e Citações por ano relacionando “ <i>Lean Manufacturing</i> ” com “ <i>Data Envelopment Analysis</i> ”	15
Figura 4 – <i>Lean Manufacturing</i> e <i>Data Envelopment Analysis</i> por área.....	16
Figura 5 – Convergências e Divergências <i>Lean</i> e <i>Green</i>	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação IVA otimizado com IVA da Companhia	35
Tabela 2 – Tabela de Super Eficiência	37
Tabela 3 – Matriz original de <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	43
Tabela 4 – Índice de Valor Agregado.....	44
Tabela 5 – Variáveis Importantes	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2	DELIMITAÇÃO E QUESTÃO DA PESQUISA	12
1.3	OBJETIVOS, ETAPAS E CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	13
1.4	JUSTIFICATIVA	14
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)	19
2.2	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS MULTIOBJETIVO (MCDEA)	20
2.3	BIO-MCDEA	22
2.4	TRIO-MCDEA	23
2.5	PRODUÇÃO ENXUTA.....	24
2.6	ÍNDICE DE VALOR AGREGADO (IVA)	27
2.7	PRODUÇÃO VERDE.....	29
2.8	RELAÇÃO LEAN E GREEN.....	30
3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELAGEM.....	33
3.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	33
3.2	DESENVOLVIMENTO QUANTITATIVO	34
4	CONCLUSÃO.....	39
4.1	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DA PESQUISA	39
4.2	RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	39
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICE A – MATRIZ ORIGINAL DE INPUTS E OUTPUTS	43
	APÊNDICE B – ÍNDICE DE VALOR AGREGADO.....	44
	APÊNDICE C – VARIÁVEIS IMPORTANTES	45

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A eficiência é um fator chave para a sobrevivência no mercado, sendo que, a influência direta do colaborador tem impacto significativo na competitividade de diversos sistemas de produção, principalmente para um sistema produtivo que não é de todo automatizado (BAINES et al., 2005).

Nestes sistemas de produção manuais, o desempenho do colaborador tem um impacto maior nos números de produção e produtividade da Companhia, uma vez que o seu trabalho é diretamente impactante na qualidade e quantidade dos produtos na saída do processo.

Com tais desafios as empresas se veem na necessidade de implementar ferramentas para conhecer a demanda e as necessidades do mercado que está em constante mutação (ESWARAMURTHI; MOHANRAM, 2013).

Uma ferramenta para competitividade organizacional é a adoção de sistemáticas na gestão que visam a potencialização da eficiência de projetos, redução do *Lead Time*, melhoria dos métodos de processos e também estímulo do ânimo operacional no ambiente da empresa (GONÇALVES et al., 2013).

A Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) consiste em um método não paramétrico que visa a análise da eficiência relativa de unidades de tomada de decisão (*Decision Making Units - DMUs*) (CHARNES et al., 1998).

Para a utilização da DEA é essencial a elaboração de uma matriz de entrada (*Input*) e saída (*Output*) para cada DMU analisada, visando alocar de forma otimizada os recursos, reduzindo desperdícios.

A produção *Lean* é uma estratégia gerencial para identificar e eliminar desperdícios, visando reduzir custos e direcionar para o aumento de produtividade e excelência dos processos (MASONE-JONES et. al., 2000; SHAHIN; ALINAVAZ, 2008).

1.2 DELIMITAÇÃO E QUESTÃO DA PESQUISA

As informações para este trabalho foram extraídas de uma empresa multinacional do ramo de produção de *Medical Devices*, localizada no Vale do Paraíba, considerando um período de 20 Ordens de Processo.

Questões da Pesquisa:

- Como estabelecer o Índice de Valor Agregado (IVA) por meio de um modelo DEA-Multiobjetivo?
- Há vantagens no IAV estabelecido pelo modelo DEA-Multiobjetivo em relação à forma tradicional de cálculo do IAV?
- Como estimar metas para tornar as DMUs ineficientes em eficientes?

1.3 OBJETIVOS, ETAPAS E CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

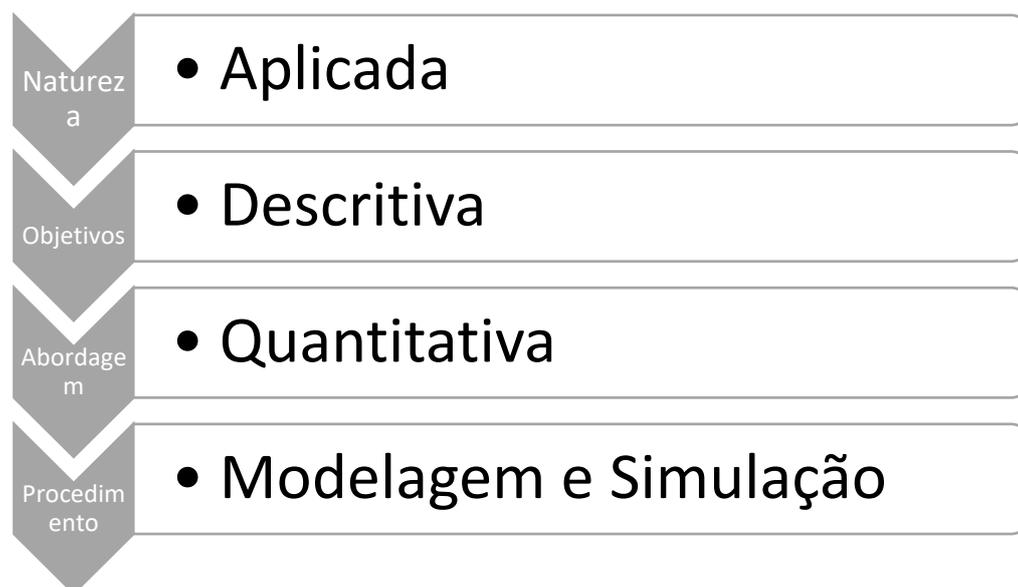
O objetivo geral foi, para uma empresa multinacional do ramo de produção de *Medical Devices*, desenvolver um novo indicador, por meio de um modelo Multiobjetivo de Análise Envoltória de Dados, para mensurar o Índice de Valor Agregado de processos de manufatura.

Os objetivos específicos foram, para a Empresa estudada:

- Estabelecer um *ranking* entre os processos mais eficientes.
- Propor metas para tornar as DMUs ineficientes em eficientes.

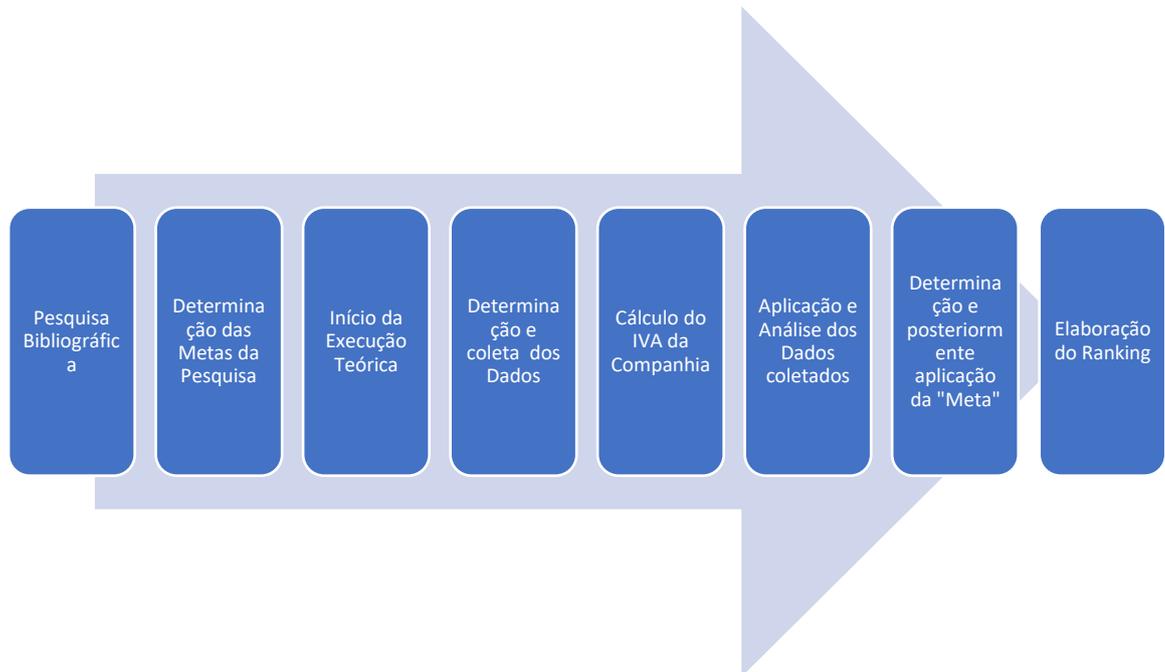
De acordo com Bertrand e Fransoo (2002), essa pesquisa pode ser considerada como sendo aplicada, com fins empíricos normativos, pois a solução deste modelo visa estabelecer políticas e estratégias que melhore uma situação atual. A forma de abordar o problema quantitativa. O método de pesquisa será a modelagem e simulação, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Classificação da Pesquisa



Fonte: Adaptado de Bertrand e Fransoo (2002)

As etapas da pesquisa incluíram:



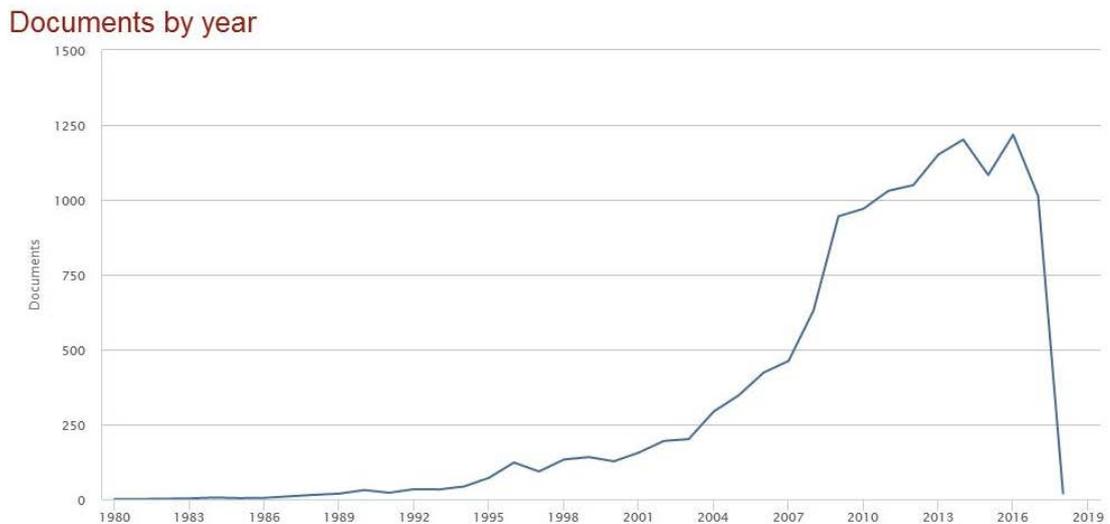
O desenvolvimento quantitativo foi realizado por uma coleta de dados dos valores de *inputs* e *outputs* da máquina de impressão flexográfica. A modelagem feita com base em programação em VBA Excel, utilizando o algoritmo Simplex (HILLIER; LIEBERMAN, 2010).

1.4 JUSTIFICATIVA

Os métodos que rotineiramente são aplicados para se calcular a eficiência das linhas de produção podem não ser os que apresentam a maior acuracidade (SILVA et al., 2014). Uma técnica que possibilita a redução de *inputs* e aumento de *outputs* consiste na DEA, que avalia diferentes unidades de tomada de decisão (*Decision Making Units* – DMUs). Esta técnica auxilia na tomada de decisão, tomando como base a identificação de processos e operações ineficientes (SILVA et al., 2015).

Segundo Mourtzis; Papathanasiou e Fotia (2016), desde a criação da DEA em 1978, existe um significativo crescimento em sua evolução teórica e também no impacto do método em situações práticas (COOK; SEIFORD, 2009). A Figura 2 mostra os resultados de um estudo bibliométrico sobre o tema deste trabalho, feito na base de dados Scopus, que resultou no total de 13.304 documentos encontrados.

Figura 2 – Documentos sobre *Data Envelopment Analysis* por ano.



Fonte: O Autor (2017)

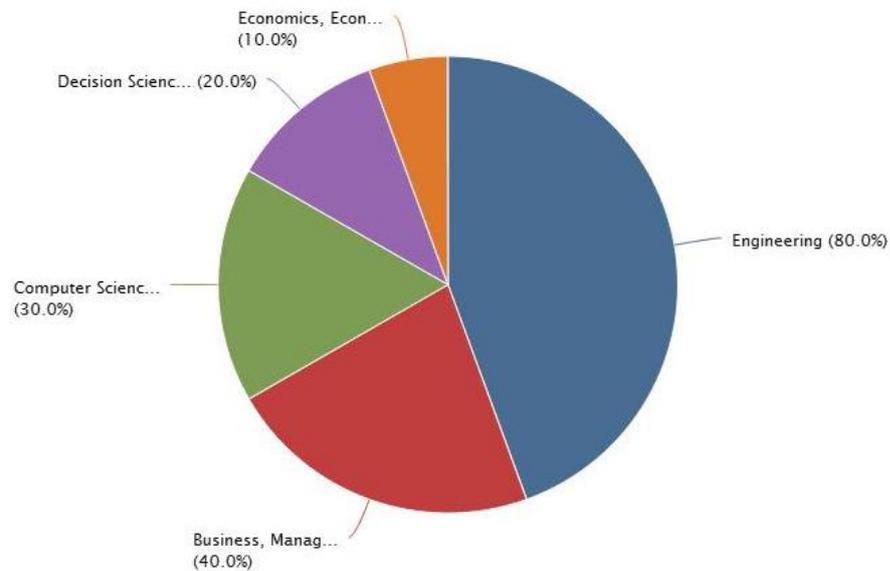
Porém, uma busca na base de dados de publicações científicas mostra que existem poucas publicações existentes relacionando ambos os temas, e que mesmo assim, são todas recentes. Na Figura 3 nota-se que ao se realizar uma busca com a relação entre *Lean Manufacturing* e *Data Envelopment Analysis*, encontra-se somente 10 resultados, e todos de certa forma recentes; ao passo que, na Figura 4, nota-se que grande parte das publicações se realiza no campo da Engenharia (80%).

Figura 3 - Publicações e Citações por ano relacionando “*Lean Manufacturing*” com “*Data Envelopment Analysis*”



Fonte: O Autor (2017)

Figura 4 – *Lean Manufacturing* e *Data Envelopment Analysis* por área



Fonte: O Autor (2017)

Conclui-se, portanto, que o tema se mostra promissor para os estudos e aplicação na indústria.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia está organizada em mais três Capítulos, além deste introdutório. O Capítulo 2 contém a fundamentação teórica envolvendo contextualização das ferramentas *Lean*, IVA e DEA. O Capítulo 3 apresenta a descrição e modelagem do problema, e também a análise dos resultados. Enfim, no Capítulo 4, estão as conclusões e recomendações de trabalhos futuros, seguidas das referências bibliográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

Este modelo de DEA foi proposto inicialmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978). Basicamente, avalia o desempenho de Unidades de Tomada de Decisão, ou, *Decision Making Units* (DMUs), que acabam contemplando múltiplas entradas (*inputs*) e múltiplas saídas (*outputs*).

Com este modelo matemático, o intuito é aplicá-lo para promoção de um novo modo de obtenção de estimativas empíricas de certas relações entre dados (COOPER; SEIFORD; ZHU, 2013).

Um dos desafios relacionados à aplicação da DEA é a dificuldade em quantificar alguns fatores de entradas e saídas. Portanto, para se obter sucesso na abordagem da DEA, deve-se obter a medida exata de todos os fatores, incluindo entradas e saídas (LIU, 2008).

As condições de aplicações da DEA são:

- Unidades submetidas a análises comparáveis.
- Atuação sob a mesma condição de mercado.
- Variáveis (insumos e produtos) das unidades devem ser as mesmas, exceto em magnitude e intensidade.

Sendo assim, a DEA permite a identificação das DMUs que sejam referência, ou *benchmarking*. O primeiro modelo DEA é o CCR ou CRS – Retornos Constantes de Escala (*Constant Returns Scale*-CRS). Este modelo vem abordar retornos constantes de escala (CHARNES et al., 1978) e trata de exibir equilíbrio entre *inputs* e *outputs*.

Devido a Banker et al. (1984), o modelo chamado de BCC trata de retornos variáveis de escala, onde analisa a eficiência de DMUs em avaliações resolvendo-se uma Programação Linear.

As equações de (1) à (4), apresentam os modelos tradicionais, segundo Charnes, Cooper e Rhodes (1978).

$$\max w_0 = \frac{\sum_{r=1}^r u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (1)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$u_r \geq 0, r = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

$$v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

Sendo que:

- j : índice da DMU j , com $j \in \{1, \dots, n\}$;
- y_{rj} → Valor da r -ésima variável de saída para a j -ésima DMU,
- x_{ij} → Valor da i -ésima variável de entrada para a j -ésima DMU,
- u_r → Peso dado para a r -ésima variável de saída;
- v_i → Peso dado para a i -ésima variável de entrada,
- w_0 → Eficiência relativa de DMU_0 , que é a DMU em análise;
- y_{r0} e x_{i0} → São os coeficientes tecnológicos das matrizes de variável de saídas e variável de entradas.

Interpreta-se esta solução da seguinte forma:

- se $w_0 = 1$ a DMU_0 é eficiente se comparada às outras DMU's;
- se $w_0 < 1$ - a DMU_0 é ineficiente se comparada às outras DMU's.

As equações de (1) à (4) mencionam que esta relação não é linear, demonstrando-se um caso de Programação Fracionária. Sabe-se que é possível linearizar este modelo (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978), como mostrado nas equações de (5) à (9), gerando o modelo CCR:

$$\max w_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

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

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

Partindo do modelo DEA CCR apresentado por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), expõe-se o surgimento do modelo BCC colocado por Banker, Charnes e Cooper (1984).

A avaliação pelo modelo da eficiência resolve o programa linear dado pelas equações de (10) à (15) (TOLOO; NALCHIGAR, 2009). Esse modelo é conhecido como modelo multiplicador com orientação ao *input*:

$$\max w_0 = \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} + c_0 \quad (10)$$

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

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + c_0 \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

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

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

$$c_0 \text{ irrestrita} \quad (15)$$

Sendo c_0 a variável conhecida como fator de escala e que assegura retornos variáveis de proporcionalidade para o modelo BCC. No caso do valor de c_0 fosse não negativo, tem-se um retorno constante de escala, isto é, o modelo conhecido por CCR.

A DEA CCR é fundamentada em retornos constantes de escala. Logo, um aumento na entrada é diretamente proporcional a um aumento na saída (TOLOO; NALCHIGAR, 2009), enquanto que a DEA-BCC se estende para considerar retornos variáveis de escala (TOLOO, 2012).

Os modelos ainda podem ser orientados por *input* e *output*, em que o objetivo é tentar movimentar o máximo de uma entrada em direção à fronteira de eficiência mantendo a saída constante ou vice-versa (JUNIOR, 2006).

As DMU's definidas como as mais eficientes no modelo CCR são as mesmas encontradas no modelo BCC, porém não há garantias de que o contrário ocorra (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984).

Nestas tratativas do problema avaliado, devem-se mitigar questões de amplitude de discriminação dos modelos DEA. Para isso, o número de DMUs necessita apresentar-se igual ou superior a três vezes o somatório do número absoluto de variáveis (considerando-se *inputs* e *outputs*) (Banker et al., 1989), sendo conhecida por Regra de Ouro da DEA.

O Modelo do Envelope permite estabelecer metas para tornar as DMUs ineficientes em eficientes. As expressões (16) à (23) apresentam o Modelo do Envelope para o CCR com orientações respectivamente ao *input* e *output*.

Para minimização de *inputs*:

$$\text{Min } w_0 = h_0 \quad (16)$$

$$\text{Sujeito a: } h_0 x_{i0} \geq \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j, \forall_i \quad (17)$$

$$y_{r0} \leq \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j, \forall_r \quad (18)$$

$$\lambda_j \geq 0, \forall_r \quad (19)$$

Para maximização de *outputs*:

$$\text{Max } w_0 = h_0 \quad (20)$$

$$\text{Sujeito a: } x_{i0} \geq \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j, \forall_i \quad (21)$$

$$h_0 y_{r0} \leq \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j, \forall_r \quad (22)$$

$$\lambda_j \geq 0, \forall_r \quad (23)$$

Para o Modelo BCC, deve-se incluir a restrição:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (24)$$

O objetivo do Modelo do Envelope é de minimizar h_0 orientado ao *input*, e maximizar h_0 no caso de orientação ao *output*. A variável λ_j é chamada de variável de importância, que discrimina as DMUs, identificando os *benchmarks*, sendo os demais parâmetros análogos aos modelos anteriores.

2.2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS MULTIOBJETIVO (MCDEA)

A distribuição de peso irrealista, bem como a fraqueza no poder discriminante são dois problemas que têm sido reconhecidos (LI e REEVES, 1999). Caso o número de DMUs em análise for de maneira significativa menor que o número de *inputs* e *outputs*, pode vir a ocorrer o problema de um fraco poder discriminante. Isso ocorre quando clássicos modelos DEA frequentemente identificam muitas DMUs como eficientes (GHASEMI; IGNATIUS; EMROUZNEJAD, 2014).

No que tange ao problema da distribuição de peso irrealista, o problema é que algumas DMUs podem apresentar pesos mais elevados em uma saída, ou pesos menos elevados em uma única entrada. Tais pesos que se apresentam nos extremos são indesejáveis (LI; REEVES, 1999).

Li e Reeves (1999) por sua vez propuseram um modelo de DEA que envolve critérios múltiplos (MCDEA), onde cada critério apresenta-se como uma função independente. Este modelo é apresentado nas equações de (25) – (32):

$$\text{Min } d_0 \text{ (ou } \text{max } h_0 = \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}) \quad (25)$$

$$\text{Min } \sum_{j=1}^n d_j \quad (26)$$

$$\text{Min } M \quad (27)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^m v_i X_{i0} = 1 \quad (28)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + d_j = 0, j = 1, 2, \dots, n \quad (29)$$

$$M - d_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (30)$$

$$u_r, v_j \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m \quad (31)$$

$$d_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (32)$$

No modelo apresentado, a primeira parte consiste no modelo da função objetiva clássica do DEA. O valor de d_0 varia entre $[0,1]$, sendo considerada uma medida de ineficiência. Também se afere que d_j representa a medida de ineficiência da j -ésima DMU. Sendo assim, pode-se pontuar alguns itens sobre as equações anteriores:

- DMU_0 é eficiente se $h_0 = 1 - d_0 = 1$ sendo h_0 é o valor da eficiência da clássica DEA.
- M é o máximo valor de ineficiência.
- ε representa um valor infinitesimal.

Em MCDEA, sem ordem de preferência definida, analisa-se os três objetivos de maneira absoluta (GHASEMI; IGNATIUS; EMROUZNEJAD, 2014). Ao analisar o âmbito de critérios dos extremos, ou seja, de mínimos e máximos, os ganhos de eficiência

apresentam-se um tanto quanto mais restritivos quando comparados ao DEA clássico. Estes critérios, usualmente apresentam menos DMUs eficientes (RAMÓN; CRISTÓBAL, 2011).

2.3 BIO-MCDEA

O objetivo do MCDEA trata-se de permitir ao analista que selecione a opção que se apresente mais viável ao seu caso em estudo, convertendo os múltiplos objetivos em apenas um (GHASEMI; IGNATIUS; EMROUZNEJAD, 2014). O método tri-objetivo do MCDEA pode ser escrito conforme a equação (33):

$$\text{Min } (w_1 d_0 + w_2 M + w_3 \sum_{j=1}^n d_j) \quad (33)$$

Os pesos de w_i podem variar a fim de obter diferentes soluções, sempre com $i = (1,2,3)$. Não obstante, o modelo clássico CCR corresponde ao primeiro objetivo, adicionado a isso, Le e Reeves (1999) demonstram que o primeiro objetivo apresenta menor poder de discriminação quando comparado aos outros dois, sendo assim, pode ser eliminado, obtendo-se um modelo Bi-objetivo

O modelo multiobjetivo visa obter uma solução que simultaneamente otimize todos os objetivos, não somente procurando encontrar uma solução para cada função objetivo individual (GHASEMI; IGNATIUS; EMROUZNEJAD, 2014). Logo, aferiu-se que o modelo BiO-MCDEA busca então solucionar os outros dois objetivos simultaneamente.

Portanto, a modelagem BiO-MCDEA segue as seguintes equações (34) - (40):

$$\text{Min } h = (w_2 M + w_3 \sum_{j=1}^n d_j) \quad (34)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (35)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0, \quad j = 1,2,3, \dots, n \quad (36)$$

$$M - d_j \geq 0, \quad j = 1,2, \dots, n \quad (37)$$

$$u_r \geq \varepsilon, \quad r = 1,2, \dots, s \quad (38)$$

$$v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (39)$$

$$d_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (40)$$

2.4 TRiO-MCDEA

O modelo TRiO-MCDEA foi proposto por Silva et al. (2018). A ideia dos autores foi utilizar todos os termos proposto inicialmente por Le e Reeves (1999) na função objetivo, utilizando conceitos de *Goal Programming* (GP), como mostrados nas equações de (41) à (49).

$$\text{Min} \left(M + \theta + \sum_{j=1}^n (d_j^+ + d_j^-) \right) \quad (41)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (42)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - d_j^+ \leq \theta \quad (43)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - d_j^+ + d_j^- = 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (44)$$

$$M \geq d_j^-, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (45)$$

$$u_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (46)$$

$$v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (47)$$

$$d_j^+, d_j^- \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (48)$$

$$\theta \geq 0 \quad (49)$$

O objetivo principal do TriO-MCDEA é incluir uma variável θ , que mede a eficiência do seu processo na função (41), na função de nova restrição (43) e também na de restrição atualizada (44), que possuem correlação com a clássica função da DEA.

É possível notar que a restrição de (43) em associação com (44) fornece a possibilidade de aumento de discriminação das DMUs, uma vez que as DMUs eficientes são penalizadas (Cook e Seiford, 2009). Este cenário dá uma alternativa para contornar o problema de não atendimento da Regra de Ouro.

Adicionalmente, explora-se o modelo de super eficiência na DEA como mostrado nas equações de (50) à (58) (Andersen e Petersen, 1993 Lee et al., 2011; Chen et al., 2013; e Hatami-Marbini e Toloo, 2017), sendo esse modelo proposto por Silva et al. (2018).

$$\text{Min} \left(\left(\sum_{j=1}^n (d_j^+ + d_j^-) - \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \right) + M + \theta \right) \quad (50)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (51)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - d_j^+ \leq \theta \quad (52)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j^- - d_j^+ = 0, \quad j = 1, 2, \dots, n: j \neq 0 \quad (53)$$

$$M \geq d_j^-, \quad j = 1, 2, \dots, n: j \neq 0 \quad (54)$$

$$u_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (55)$$

$$v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (56)$$

$$d_j^-, d_j^+ \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n: j \neq 0 \quad (57)$$

$$\theta \geq 0 \quad (58)$$

Visando a implementação de ambos os modelos de TriO-MCDEA e aplica-lo à um caso real de uma empresa do setor médico-hospitalar, foi utilizado modelo VBA em Excel[®] e também o algoritmo Simplex (Hillier e Lieberman, 2014).

2.5 PRODUÇÃO ENXUTA

Womack, Jones E Roos (1992) definiram o sistema de produção Enxuta (PE) como algo que possui como principal meta a eliminação de qualquer tipo de desperdício no processo produtivo, gerando produtos e serviços de maior qualidade, ao menor custo que se possa atingir, sem deixar de atender as necessidades dos clientes finais. Este sistema foi baseado no Sistema Toyota de Produção (TPS), segundo os mesmos autores.

Historicamente, a implementação do método da PE deu-se de maneira empírica, a partir de experiências industriais, sendo assim, ainda não há um consenso literário sobre quais suas práticas fundamentais ou os princípios que a regem.

Não obstante, muitos trabalhos vêm sendo publicados e construídos tentando dar o embasamento teórico que relacione de maneira coerente os elementos da PE (LIKER, 2004; KOSKELA, 2000; WOMACK; JONES, 1998), sendo que, a terminologia deste sistema ainda não é consensual.

Alguns autores dizem que esta terminologia é baseada em sistemas e ferramentas, ao passo que outros, utilizam-se de termos, princípios, leis, métodos e técnicas (Pasa, 2004 e Filho e Fernandes, 2004).

As primeiras raízes do *Lean Manufacturing* nasceram com Henry Ford, foram colocadas em prática na fábrica de Highland Park, em 1913 (DUQUE; CADAVID, 2007). Porém, de fato, o conceito conhecido como *Lean Manufacturing* manifestou-se na montadora de veículos Toyota logo após a II Guerra Mundial.

O responsável pelo Sistema Toyota de Produção foi o engenheiro Taiichi Ohno que, em meados da década de 50 do século XX verificou que o sistema de produção em massa (o fordismo) não era adequado para as circunstâncias do mercado japonês (IMAI, M., 1986).

Naquela época, após estar em período de recessão devido à assolação causada pela Segunda Guerra Mundial, a situação financeira das indústrias japonesas se encontrava em uma circunstância ruim e, para isso, era altamente necessário reduzir os custos associados à produção (WOMACK & JONES, 1992).

Outro ponto é que o Japão, mesmo sendo um mercado pequeno, demandava uma alta variedade de produtos finais. Uma vez que não havia escala, todos os veículos eram produzidos na mesma linha de montagem. Isso fez com que a Toyota viesse a se tornar flexível tanto em *mix* quanto em volume de produtos finais (WOMACK & JONES, 1992).

Durante a década de 80, a supremacia dos carros japoneses se comparados aos americanos era evidente, tendo a Toyota como uma potência mundial na produção de veículos. Ainda mais, a companhia mostrou que sua gestão de operações possuía técnicas diferenciadas quando comparadas com a indústria automobilística americana.

Porém, em 1990, nos EUA, a partir do lançamento do livro “A Máquina que Mudou o Mundo” A mentalidade enxuta vem evoluindo consideravelmente o sistema de gestão operacional da indústria global. A filosofia *lean* não somente pode ser aplicada na manufatura, mas também em setores administrativos das empresas.

A produção enxuta vem tomando o lugar da produção em massa, bem como esta última gradualmente veio para tomar o lugar da produção artesanal (WOMACK & JONES, 1992).

Segundo Womack et al. (2005), cada uma das empresas é composta por diversos processos, que nada mais são do que um conjunto de ações que interferem diretamente na

criação de valor para aqueles que dependem diretamente desses processos, ou melhor dizendo, os clientes.

Ainda Womack et al. (2005) o segundo aturo, ou princípio da filosofia *lean*, é a captação das atividades que de fato agregam e que não agregam valor – leia-se desperdícios - a um fluxo de processo produtivo. Tudo isso faz parte de um fluxo de valor.

Hines & Taylor (2000) citam as atividades que agregam valor, as que não agregam valor e as atividades necessárias e inerentes ao processo, mas que inevitavelmente não agregam valor. Estes são os três tipos de atividades que estão presentes na indústria de manufatura ou serviços. Segue uma explicação mais detalhada das três aqui citadas pelos autores:

- **Atividades que agregam valor:** São as atividades que de fato geram beneficiamento para o produto final, ou basicamente aquelas em que o cliente está disposto a pagar por elas.
- **Atividades que não agregam valor:** São os desperdícios, seguindo o próprio pensamento *lean*. Partindo-se da ótica de um cliente final, são as atividades que não agregam valor ao produto ou serviço, partindo da ótica do cliente final. Portanto, são dispensáveis ao processo, e devem ser eliminadas;
- **Atividades necessárias, mas que não agregam valor:** Estas atividades são difíceis de serem eliminadas no curto e médio prazo, mas que necessariamente devem ser atacadas no longo prazo. Para a companhia e as tecnologias atuais, estas são indispensáveis ao processo, e necessitam estar presentes no processo produtivo. Porém, na ótica do cliente final não agregam valor algum.

Ainda Hines e Taylor (2000), taxam estas atividades nas seguintes proporções: 5% de atividades que agregam valor; 60% de atividades que não agregam valor e 35% de atividades necessárias, mas que não agregam valor.

Logo, a proporção das atividades que de fato agregam valor (AV) é ínfima quando analisada juntamente com as atividades que não agregam valor (NAV). Isso é facilmente notável em uma companhia típica, como aquela em que se configura sob os preceitos da produção em massa.

A partir das atividades que não agregam valor, Taiichi Ohno criou categorias de desperdícios, conhecidas pelo termo japonês “*muda*”. Batizado como os sete tipos de desperdícios da produção enxuta, Latas e Robert (2000) e Bushell et al. (2002) citam alguns modelos de desperdícios que são normalmente encontrados no ambiente fabril, tais como:

1) Superprodução: realização de testes além do indispensável; falta de coordenação entre os diferentes encarregados, realização de execução de Ordens de Produção desnecessárias por falta de preparo da equipe ou erro humano.

2) Estoque Excessivo: são insumos e produtos em quantidades excessivas ou desnecessários parados no depósito.

3) Transporte Excessivo: transporte em excesso de materiais, equipamentos e ferramentas.

4) Movimentação excessiva: excessiva movimentação na fábrica pelos profissionais, como operadores.

5) Espera: é a espera de uma equipe para iniciar das suas tarefas na produção.

6) Processamento Inapropriado: é basicamente o tempo excessivo de tratamento por dificuldade de determinar padrões de procedimentos; excessivas correções, retrabalhos e inspeções.

7) Defeitos: aborda erros de manufatura, erros de produção e falhas em métodos de teste, informação errônea ou não disponível ou comunicação ineficiente.

O *lean manufacturing* é basicamente um conjunto de técnicas e instrumentos que cotidianamente são utilizados para reduzir e eliminar desperdícios ou atividades que não agregam valor. Uma dessas técnicas e ferramentas, bem como respectiva definição está descrita a seguir (LEXICO LEAN, 2003):

- **Mapa de Fluxo de Valor:** método de mapeamento de processos do *lean manufacturing*, usado para avaliar o fluxo de material e informação que é necessária na transformação de um produto ou serviço para um cliente. No ambiente fabril serve para indicar, analogamente, onde estão as filas de inventário na produção. Tal problema muitas vezes pode ser resolvido de modo simples, a partir do momento em que os gestores são capazes de enxergar o fluxo de valor como um todo e então, reconhecer o real problema.

2.6 ÍNDICE DE VALOR AGREGADO (IVA)

Adicionar valor agregado à serviços ou produtos é o mesmo que mapear e analisar os processos, com o intuito da identificação do que realmente é necessário do ponto de vista do cliente, segundo Wormack e Jones (1998)

Portanto, o Índice de Valor Agregado (IVA) corresponde a um percentual das atividades de um processo produtivo que compara as atividades que efetivamente agregam valor ao produto no ponto de vista do cliente com as que não o fazem, examinando as variáveis de tempo.

Nele, a partir do Mapa de Fluxo de valor, necessita-se de dois índices. São eles:

- Atividades que Agregam Valor (VA): Definidas como atividades que o cliente consegue perceber o valor, e está disposto a remunerar a empresa pela mesma.
- Atividades que Não Agregam Valor (NAV): Atividades que o cliente não consegue perceber como válidas, e, portanto, não está disposto e nem se interessa em remunerar a empresa pela mesma. Muitas vezes, estas atividades podem ser necessárias ou essenciais ao processo, mesmo não agregando valor ao produto final.

As relações entre estes dois tipos de atividades são fundamentais para manter a competitividade de uma empresa, bem como para avaliar se as atividades inerentes ao processo de fato são necessárias. O objetivo, obviamente, é sempre reduzir ou buscar eliminar as atividades NAV, o que acaba por reduzir os custos e aumentar a velocidade do processo, diminuindo o *Lead Time* do produto.

Sabe-se que as indústrias utilizam diferentes formulações para o cálculo do IVA. No caso deste trabalho, a maneira do cálculo está demonstrada, na equação (59).

$$IVA = \frac{VA}{VNA} \quad (59)$$

Sendo: VA é representado pelo tempo total de produção e VNA é a soma entre os tempos de abertura de OP, *setup*, inspeção, preenchimento de documentação e apontamento.

No cenário proposto, a padronização é aplicada para evitar as práticas de valor não agregado, e prover maiores experiências de inovação, *checklists*, procedimentos de trabalho, padrões de design, métodos de padronização para solução de problemas, dentre outros (JOHANSSON; SUNDIN, 2014).

2.7 PRODUÇÃO VERDE

Para Barry e Rondinelli (1998), o mundo vem passando por uma nova Revolução Industrial, e devido ao mercado e as pressões que este vem exercendo, as companhias devem adequar-se para atuar de forma mais efetiva no gerenciamento dos recursos naturais.

A sustentabilidade ambiental é um valor relativamente novo que deve ser adotado pelas companhias para se inserirem de maneira mais competitiva e eficiente no mercado, sendo mais bem-sucedidas na sua área de atuação. A gestão ambiental é comumente referida como condições favoráveis à organização.

Além disso, outros pontos de cunho social e ecológico são agregados por uma visão sistêmica, para a formação de conhecimentos mais amplos de objetivos econômicos das empresas e também para entendimento da real necessidade do consumidor final (FARIA, 2008; EPELBAUM, 2004).

Para Barbieri (2007), a gestão ambiental nada mais é do que um amontoado de diretrizes das atividades de operação e administração, sempre com o objetivo de obter causas e efeitos positivos pelas ações humanas.

A nova consciência ambiental que está em constante crescimento na sociedade atual tem obrigado as empresas a se renovarem e reinventarem, buscando novos métodos e técnicas operacionais que preservam e reduzem o consumo dos bens naturais, diminuindo seu impacto ambiental e social. Isso lhes dá uma vantagem competitiva, bem como gera uma melhora significativa na sua imagem relacionada aos produtos e serviços oferecidos (ALMEIDA, 2009; NASCIMENTO; LEMOS; MELLO, 2008).

Conforme Galeazzo, Furlan e Vinelli (2013) a prática *Green* é a denominação dada a um grupo de técnicas que visam mitigar os impactos ambientais da produção. É possível encontrar dois tipos de práticas ligadas ao meio-ambiente, as de medidas preventivas e de controle, também chamadas respectivamente de tecnologia preventiva de poluição e tecnologias de controle de poluição.

O primeiro refere-se às que modificam o processo de produção em si, a fim de conseguir adotar recursos com menor impacto ambiental. Já o segundo, de maneira oposta, não apresenta qualquer variação no processo de produção ou na estrutura. Ou seja, se aproximando da filosofia *Lean*, a prática *Green* também está sempre visando uma produção limpa, ISSO 14001, que, conforme a Norma, “*especifica os requisitos relativos a um sistema de gestão ambiental, para permitir que uma organização desenvolva e implemente uma política e objetivos, tendo em conta os requisitos legais e outros requisitos que a organização*

subscreva, e informação sobre os aspectos ambientais significativos”, e logística reversa, conforme Govidan, Azevedo, Carvalho e Cruz-Machado (2014).

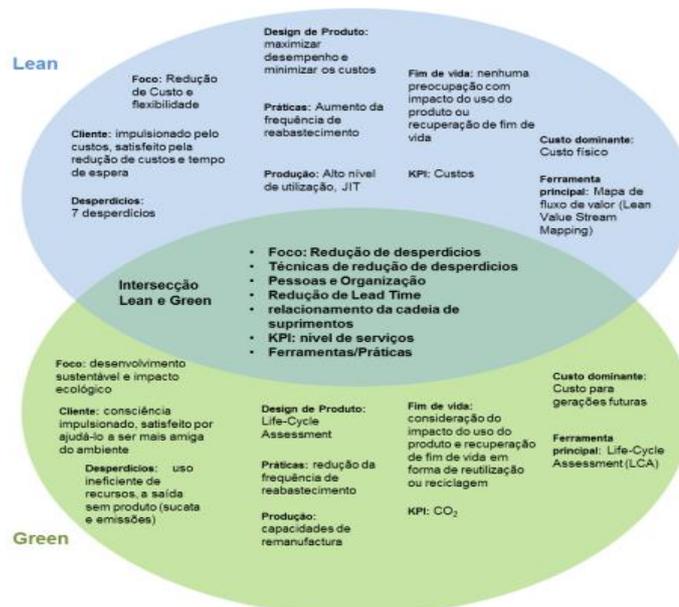
Portanto, a produção *Green* nada mais é do que a assimilação das operações e aplicações de meio visando a reduzir ou acabar com os resíduos ambientais. O longo prazo destas práticas *Green* apresentam as significativas melhorias nos resultados ambientais e no negócio, conforme Bergmiller, Mccright e Florida (2009).

Como já dito, a *Lean* é a prática de basicamente fazer mais com menor, melhorando o seu sistema produtivo, visando à redução das perdas, lidando com os desperdícios, como afirmaram Forno e Forcellini (2013).

2.8 RELAÇÃO LEAN E GREEN

Lean e *Green* são dois conceitos bem distintos entre si. Porém, essa característica não implica que ambos não possuem pontos de convergência, conforme apresentado na Figura 5. Nela, pode-se observar por meio de um diagrama os pontos distintos e também os pontos de convergência de ambos os assuntos. O presente item, obviamente, será focado nos pontos de convergência entre eles.

Figura 5 – Convergências e Divergências *Lean* e *Green*



Fonte: Adaptado de Dues, Tan e Lim (2013)

Na Figura 5, pode-se observar uma sinergia entre ambos os assuntos. Existe uma correlação entre eles. Na verdade, a influência de um no outro é de maneira positiva, ainda

mais se observado da ótica de um sistema produtivo, o que aumenta ainda mais as benfeitorias da citada relação (DUES; TAN; LIM, 2013).

Conforme cita o professor Sobek da *Montana State University*, “*Green thinking is thinking lean*”, (JOHANSSON; SUNDIN, 2014). Ou seja, pode-se aferir que ambas as abordagens estão de fato intimamente ligadas, e até mesmo as disparidades servem de sinergia entre elas.

Portanto, ambas as abordagens possuem a mesma meta como principal objetivo: Eliminar desperdícios. Entretanto, cada uma delas possui uma maneira diferente de enxergar a eliminação dos desperdícios.

Enquanto o sistema *Lean* considera como desperdício atividades sem valor agregado (leia-se os sete desperdícios *Lean*), o sistema *Green* enxerga como desperdícios a má gestão ou uso ineficiente da produção de detritos, visando a redução de redundâncias e materiais desnecessários.

Vale ressaltar que a execução do sistema *Lean*, que possui a redução de custos como foco, de maneira alguma é prejudicial para a implementação do sistema *Green*. De fato, o sistema *Lean* representa um cenário perfeito para a implementação do sistema *Green*, e vice-versa (DUES; TAN; LIM, 2013).

Limitação de emissões de gases poluentes e o enfoque na redução dos impactos ambientais são bons exemplos de eliminação de desperdícios, o que também gera a redução dos custos. Portanto, a redução dos impactos ambientais é nada mais do que uma forma de otimização de processos, levando a maior eficiência do processo produtivo, redução de consumo de energia, dentre outros, podem ser, em suma, resumidos à diminuição dos custos da produção.

A associação da redução dos desperdícios *Green* na abordagem *Lean* apresenta uma relação de mais-valia, aumentando a eficiência do *Lean*, e reduzindo os custos do processo produtivo da empresa.

Embora ambas as abordagens possuam enfoques diferentes de clientes, um cliente nunca se oporá a outra ideia. Um cliente *Lean* ficaria deveras satisfeito ao também receber serviços de redução de impactos ambientais e aumento de eficiência energética, bem como um cliente *Green* ficaria satisfeito nos serviços de redução de perdas oferecido pelo serviço *Lean*.

Não obstante, em muitos aspectos ambos não podem convergir. Uma dificuldade em miscigenar estes aspectos encontra-se justamente na questão da natureza e meio-ambiente. O *Lean* enxerga o meio-ambiente como um recurso de grande valia, ao passo que a abordagem

Green enxerga-o como um constrangimento no ato de desenvolver e produzir produtos ou serviços (DUES; TAN; LIM, 2013).

Outra incompatibilidade é no nível das frequências de provisionamento. O *Lean* prescreve o aumento da frequência, enquanto o Green, de maneira oposta, visa a redução do tempo decorrido para o transporte e também a frequência com que ocorre o abastecimento, uma vez que o transporte é um dos maiores responsáveis pela emissão de gases poluentes.

Portanto, conforme exposto, apesar dos aspectos em que o *Lean* e o Green divergem, em muitos casos eles convergem para o mesmo ponto. De maneira geral, pode-se afirmar que as práticas *Lean* influenciam positivamente as práticas *Green*.

Ambas sempre podem ser associadas e compatíveis entre si, quando uma sempre se mostra suportando a outra. Os aspectos incompatíveis não devem ser observados como barreiras ou fatores que possam minar a implementação, mas sim como desafios que se superados certamente oferecerão um ganho tanto para empresa, cliente, colaboradores e meio-ambiente.

Em suma, as práticas *Green* levam à redução de custos visada pelo *Lean*, bem como vice-versa pode ser aferido, uma vez que a redução de desperdícios automaticamente gera um benefício para o meio-ambiente.

3 DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA

3.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Conforme foi identificado na pesquisa bibliográfica realizada, a produção enxuta já é amplamente utilizada e possui eficácia certamente reconhecida no ambiente fabril. Sendo assim, o presente trabalho buscou levantar e analisar os dados de uma empresa de *Medical Devices*. Particularmente, a área avaliada foi a gráfica, onde são produzidos os *tops* dois produtos em *foil peelable*.

Tal produto é crucial para o processo de fabricação, e possui alto valor financeiro, uma vez que é ele quem vai ser a barreira estéril do produto, garantindo que o produto chegue a uma mesa de cirurgia totalmente livre de contaminação. A empresa é localizada no Vale do Paraíba, interior do Estado de São Paulo.

Considerou-se 19 unidades de tomadas de decisão – DMUs – examinando-se a mesma máquina de impressão Flexográfica, em dois turnos distintos, em outubro de 2017. Vale ressaltar que cada *top* possui quatro produtos, portanto, a produção será sempre por volta de um quarto do tamanho da quantidade aberta na Ordem de Processo.

Adotaram-se dez *inputs*, sendo eles descritos a seguir:

1. **X₁- Tempo total do processo, em minutos** – Tempo utilizado do início ao final do processo de fabricação;
2. **X₂- Tempo de produção, em minutos** – Tempo que de fato a máquina levou para produzir o volume total;
3. **X₃- Tempo de setup, em minutos** – Tempo que o operador utilizou para preparar a máquina;
4. **X₄- Tamanho da Ordem de Produção, em unidades** – Tamanho da OP que foi aberta. Este valor somente pode ser igual à 10000, 15000 ou 20000;
5. **X₅- Perdas do produto, em unidades** – Quantidade de produtos rejeitados pela máquina. Estes em hipótese alguma são reprocessados.
6. **X₆- Tempo de abertura de OP, em minutos** – Tempo que o Operador leva para abrir a OP;
7. **X₇- Tempo de apontamento, em minutos** – Tempo que o Operador leva para realizar o apontamento da produção nos softwares específicos;
8. **X₈- Tempo de Inspeção, em minutos** – Tempo que o Operador levou para realizar a Inspeção de Qualidade da produção, após o processo da máquina;

9. **X₉- Tempo de preenchimento de documentação, em minutos** – Tempo utilizado para preenchimento Manual das Ordens de Produção, com o intuito de armazenamento do histórico do processo;

10. **X₁₀- Custo total da produção, em Reais** – Custo revertido para cada unidade produzida.

Considerou-se também um *output*, a ser:

Y₁- Taxa de atendimento da Ordem de Produção, adimensional - Razão do volume total que de fato foi produzido em relação ao tamanho da Ordem de Produção que foi aberta.

Cada uma das 19 DMUs representa uma Ordem de Produção. Nota-se que, pela regra de ouro de Banker et al. (1989) dever-se-ia ter no mínimo 3. (I+O) = 33 DMUs, desta maneira, o presente trabalho não atende a regra de ouro, justificando o uso dos modelos MCDEA.

O estudo também levou em consideração, para efeitos comparativos, o Índice de Valor Agregado (IVA) de cada uma das DMUs, com base na produção do setor no mesmo período. Foram levadas em conta as análises obtidas a partir dos modelos DEA clássico CCR, TRiO-MCDEA e BiO-MCDEA CCR, relacionados à produção enxuta desta fábrica, sendo considerado um retorno constante de escala.

3.2 DESENVOLVIMENTO QUANTITATIVO

A Tabela 4, do APÊNDICE A, expõe a base de dados em uma matriz contendo 19 DMUs, com 10 *inputs* e 1 *output*, que foi gerada a partir de dados coletados na empresa estudada. Todas as 19 DMUs correspondem a dados da mesma máquina, sendo os 9 primeiros coletados no primeiro turno, e os 10 últimos no segundo turno.

As entradas levadas em consideração já foram aqui citadas, porém, é de grande valia ressaltar que as perdas dos produtos, apesar de se tratar de um *output* do processo, é um *output* indesejado e, portanto, aqui foi tratada como um *input*.

A fim de melhor analisar a situação encontrada, bem como atingir a proposta deste trabalho, realizou-se uma avaliação juntamente com os dados levantados pelo IVA obtidos no mesmo período e mesma linha de produção. Portanto, conforme a equação (59) foi calculada o IVA da Companhia, e apresentado na Tabela 5 do APÊNDICE B. Pode-se notar que nenhuma DMU foi eficiente, pelo cálculo tradicional.

Acredita-se que a forma de calcular o IVA utilizada pela Companhia (ver Tabela 5), não seja a maneira mais correta de fazê-lo, uma vez que leva em consideração somente o aspecto do tempo de produção. Sendo assim, realizou-se a otimização por meio do modelo TRiO-

MCDEA (SILVA et al., 2018), o gestor pode levar em consideração mais informações e, portanto, obter um resultado da real situação do processo investigado.

Com a aplicação deste modelo, acaba-se por expor 5 DMUs com 100% de eficiência, conforme pode-se observar na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação IVA otimizado com IVA da Companhia

<i>DMU</i>	Eficiência – Otimizada TRiO-MCDEA	IVA – Companhia
1	87,84%	56,21%
2	69,75%	78,94%
3	93,94%	75,84%
4	88,41%	78,60%
5	100,00%	74,08%
6	68,57%	70,64%
7	91,72%	89,60%
8	67,12%	83,51%
9	98,96%	78,15%
10	100,00%	98,06%
11	77,26%	68,30%
12	100,00%	63,17%
13	100,00%	78,08%
14	100,00%	76,27%
15	85,46%	89,76%
16	99,17%	66,53%
17	90,37%	60,92%
18	98,51%	68,38%
19	99,02%	84,08%

Fonte: O Autor (2017)

Esta otimização gerada pelo modelo TRiO-MCDEA também fornece um dado muito importante a ser considerado em uma análise gerencial. Por meio dele, pode-se gerar a Tabela 6 do APÊNDICE C, que expõe quais parâmetros *input* e *output* são mais importantes para tornar um processo ineficiente em eficiente.

Com estes dados, é possível que um gestor analise a informação recebida e ataque os *focal points* que realmente são interessantes para o processo e que de fato possuem maior retorno para o seu processo produtivo.

Vale ressaltar que as DMU que já possuem uma eficiência de 100% apresentam uma meta de valor igual a “1”, uma vez que a situação já representa o máximo do processo, conforme esperado.

Porém, algumas perguntas acabam por surgir: Como atacar estes pontos? Em qual razão? Deve-se aumentar ou diminuir os *inputs* e *outputs* visando o aumento de eficiência?

Para respondê-las, foi calculado um número que provém do inverso do valor de eficiência obtida pela otimização do modelo TRiO-MCDEA, uma vez que esse valor possui retornos constantes de escala (*Constant Return to Scale- CRS*).

Este valor será o fator de redução dos *inputs* e aumentos dos *outputs*, visando o aumento da eficiência, ou seja, será a meta utilizada para atuar no processo. Os valores encontrados deste inverso são apresentados na Tabela 6 do APÊNDICE C, na coluna “Meta”.

Ao multiplicar os *outputs* e dividir os *inputs* por este fator, a DMU analisada que era ineficiente se tornará eficiente. Cabe mencionar que este procedimento será feito somente para os parâmetros (*input* e *output*) julgados como “importantes” (ver Tabela 6).

Na Tabela 2, apresenta-se os valores de super eficiência. Nota-se que a DMU 5 possui a maior super eficiência de todas apresentadas (117,08%), ao passo que a menor de todas é a DMU número 6 (43,20%).

Este resultado mostra-se plausível e factível com a realidade da empresa objeto de estudo. Analisando os dados da DMU 6, nota-se que o Tempo de Produção (X2) e as Perdas (X5) foram os maiores encontrados dentre todas as medições, concomitantemente a um alto tempo de inspeção. Para a DMU 5, não apresentou *inputs* que foram os mais baixos medidos, porém teve seus resultados baixos e estáveis, mostrando que este é um excelente cenário para o processo, conforme prega a abordagem *Lean*.

Tabela 2 – Tabela de Super Eficiência

DMU	Super Eficiência	Ranking
5	117,08%	1
10	116,07%	2
14	107,87%	3
12	103,26%	4
13	100,00%	5
19	100,00%	6
9	100,00%	7
18	97,48%	8
15	97,31%	9
3	93,94%	10
16	93,20%	11
7	91,72%	12
17	90,58%	13
4	88,41%	14
1	87,84%	15
11	77,26%	16
2	69,75%	17
8	67,12%	18
6	43,20%	19

Fonte: O Autor (2017)

Os dados desta sessão foram apresentados ao time de *Lean* da Companhia em questão. Os engenheiros responsáveis se interessaram pelo caso, e concordaram que o método de analisar o IVA por meio do modelo TRiO-MCDEA mostra-se mais sensível a realidade, uma vez que toma em consideração mais *inputs* e *outputs*, e não somente o tempo.

Outro ponto ressaltado pelos responsáveis pelo processo foi a apresentação de quais são os fatores mais relevantes dentre todos (ver Tabela 6),isso se dá pois é possível notar um padrão na importância delas.

Estas informações mostram-se muito valiosas uma vez que pode ser dado mais atenção a elas para Ordens de Processo futuras, aumentando a eficiência do seu processo. Um dos engenheiros que possui experiência e atua na área das reformas e construções prediais da companhia achou a proposta muito interessante. Este considerou que o modelo seria facilmente aplicado na construção civil, uma vez que a medição da eficiência é considerada fácil, medindo-se por meio do metro quadrado construído.

Essa proposta pode ser uma análise para ser abordada em um trabalho futuro, relacionando a Análise Envoltória de Dados e o Lean na indústria da construção civil.

Os produtos considerados no estudo são chamados na empresa de *4-up* (4 cavidades de produtos por *top*). Os engenheiros mostraram interesse em abranger esse estudo considerando produtos que possuem cinco cavidades por top. Neste caso, ocorreria uma alteração, pois o tempo de setup sofreria maiores alterações.

Outro ponto questionado foi que o Índice de Valor Agregado é um número muito importante e expressivo para decisões gerenciais. Porém, este ainda não sobrepõe a importância do OEE.

Uma possibilidade seria o levantamento de mais dados ainda para tornar a análise mais sensível, ocorrendo um desdobramento do primeiro nível de análise. Neste ponto, poderia vir a valer a pena substituir o OEE por esse estudo futuramente.

Uma preocupação levantada pelo time foi também quanto ao tempo gasto para coleta de dados e também aplicação da álgebra envolvida. Com a automação destes cálculos, conforme ocorreu para este trabalho, certamente o modelo se torna viável para o negócio.

4 CONCLUSÃO

4.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DA PESQUISA

Conforme resultados das análises realizadas neste trabalho, bem como as expostas ao time de especialistas em *Lean* da Companhia analisada, pode-se aferir que o modelo TRiO-MCDEA mostrou-se eficaz no cálculo do IVA da máquina de impressão Flexográfica em avaliação.

No trabalho também foi possível calcular um valor da meta para se aplicar de diferentes formas no *output* ou *input* do processo. Com aplicação desta meta, pode-se notar que a eficiência do processo melhora significativamente, até mesmo chegando a dobrar o número de DMUs 100% eficientes na análise, mesmo que sendo aplicada isoladamente somente no *output*.

Outra ferramenta gerada neste trabalho que despertou interesse nos engenheiros da indústria foi a Tabela do Apêndice C de quais variáveis são de fato importantes para o processo de aumento de eficiência. Estas informações permitem aos gestores atuarem de maneira mais eficaz no sentido de melhorar as eficiências dos processos de manufatura.

Obteve-se também um *ranking* de supereficiência que pode ser muito útil em uma análise visando investimentos ou melhorias para os processos de manufatura estudados.

Portanto, a aplicação e desenvolvimento do IVA por meio do modelo TRiO-MCDEA mostra-se eficaz e muito mais condizente com a realidade, uma vez que leva mais fatores em consideração para o seu cálculo. Como fornece um número maior de dados, também se mostra uma ferramenta gerencial, que pode ajudar na tomada de escolhas, manutenção, melhorias e investimentos na área.

4.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Conforme a justificativa, o presente veio explorar uma área relativamente nova de pesquisa. Sendo assim, acredita-se que ainda existem muitos campos a serem cobertos relacionando ambos os assuntos propostos.

Pode-se, por exemplo, replicar este estudo na indústria da construção civil, conforme ressaltado por um engenheiro do time de especialistas em *lean* da empresa estudada.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, P.; PETERSEN, N. C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 39, p. 1261–1264, 1993.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiency in data envelopment analysis. **Management Science**, v.30 p. 1078–1092, 1984.
- BANKER, R. D. et al. An Introduction to Data Envelopment Analysis with Some of its Models and Their Uses. **Research in Governmental and Non-Profit Accounting**, v. 5, p. 125-163, 1989.
- BANKER, R. D.; NATARAJAN, R. Evaluating contextual variables affecting productivity using Data Envelopment Analysis. **Operations Research**, v. 56, mar. 2014, p. 48–58, 2008.
- BERGMILLER, G. G.; MCRIGHT, P. R.; FLORIDA, S. **Are Lean and Green Programs Synergistic?**, p. 1–6, 2009.
- BERTRAND, J. W. M; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, p. 241-264, 2002.
- BUSHELL, S.; MOBLEY, J.; SHELEST. B. Discovering lean thinking at progressive healthcare. **The Journal for Quality and Participation**, v. 25, n. 2, p. 20-25, jun. 2002.
- CHARNES, W.W.; COOPER, E. RHODES, Measuring the efficiency of decision-making units, Eur. J. **Operational Research**, v.2, p. 429–444, 1978.
- COOK, W. D.; SEIFORD, L. M. Data envelopment analysis (DEA)—Thirty years on. **European Journal of Operational Research**, v. 192, n. 1, p. 1-17, 2009.
- DUES, C. M.; TAN, K. H.; LIM, M., Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. **J. Clean. Prod.**, v. 40, p. 93–100, fev. 2013.
- ESWARAMURTHI, K. G.; MOHANRAM, P. V. Improvement of manufacturing performance measurement system and evaluation of overall resource effectiveness. **American Journal of Applied Sciences**, v. 10, n. 2, p. 131–138, 2013.
- FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, p. 499-513, 1957.
- FORNO, J., D.; FORCELLINI, F. A. **Lean product development: principles and practices**. v. 10, n. December 2012, p. 131–143, 2013.
- GALEAZZO, A. F.; VINELLI, A. Lean and green in action: interdependencies and performance of pollution prevention projects, **J. Clean. Prod.**, Oct. 2013.

GHASEMI, M.; IGNATIUS, J.; EMROUZNEJAD, A. A bi-objective weighted model for improving the discrimination power in MCDEA. **European Journal of Operational Research**, v. 233, n. 3, p. 640–650, 2014.

GONÇALVES, R. R. M. et al. Data envelopment analysis (DEA) – Análise de eficiência da gestão de portfólio de projetos de desenvolvimento de produtos. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 4, n. 3, p. 119–140, 2013.

GOVINDAN, K. et al. Impact of supply chain management practices on sustainability, **J. Clean. Prod.**, Jun. 2014.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to Operations Research**, 10 ed. The McGraw-Hill Companies Inc, 2010.

HINES, P; TAYLOR, D. Going lean: a guide to implementation. **Lean Enterprise Research Center**, Cardiff, UK, 2000.

IMAI, M. KAISEN: **A estratégia para o sucesso competitivo**. São Paulo: Instituto IMAM, 1986 – 5ª edição 1994.

JOHANSSON, G.; SUNDIN, E. Lean and green product development: two sides of the same coin? **J. Clean. Prod.**, apr. 2014

JUNIOR, S. F. G. **Métodos não convencionais de restrições aos pesos em DEA, aplicados ao Campeonato Mundial de Fórmula 1**. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

LATAS, J., ROBERT, C. O Hospital do século XXI. **Nota técnica publicada pela división de investigación del instituto de la empresa**, Madrid. Vol. 16 no. 2, p. 24-41; 2000.

LÉXICO LEAN. Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. **The Lean Enterprise Institute**, 2003.

LI, X.; REEVES, G. R. A multiple criteria approach to data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 115, p. 507–517, 1999.

LIU, S. A fuzzy DEA / AR approach to the selection of flexible manufacturing systems. **Computers & Industrial Engineering**, v. 54, p. 66–76, 2008.

MOURTZIS, D.; PAPATHANASIOU, P.; FOTIA, S. Lean rules identification and classification for manufacturing industry. **Procedia CIRP**, v. 50, p. 198–203, 2016.

OHSATO, S.; TAKAHASHI, M. Management efficiency in japanese regional banks : A network DEA. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 172, p. 511–518, 2015.

RAMÓN, J.; CRISTÓBAL, S. A multi criteria data envelopment analysis model to evaluate the efficiency of the Renewable Energy technologies. **Renewable Energy**, v. 36, n. 10, p. 2742–2746, 2011.

ROTELA JUNIOR, P. et al. Data envelopment analysis and fuzzy theory: efficiency evaluation under uncertainty in portfolio optimization. **WSEAS Transactions on Business and Economics**, v. 12, p. 74-87, 2015.

SCOPUS. **Documentos sobre data envelopment analysis por ano**. Disponível em: <<https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sid=01906e366e8662817f599564b48dcdcc&origin=resultslist&src=s&s=TITLE-ABS-KEY%28Data+Envelopment+Analysis%29&sort=plf-f&sdt=b&sot=b&sl=40&count=13728&analyzeResults=Analyze+results&txGid=c60fa3465317c076b83c5bb2936eeafd>> Acesso: 29 out. 2017.

SCOPUS. **Publicações e citações por ano relacionando “Lean Manufacturing” com “Data Envelopment Analysis”**. Disponível em: <<https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sid=01906e366e8662817f599564b48dcdcc&origin=resultslist&src=s&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Data+Envelopment+Analysis%22+and+%22LEAN+MANUFACTURING%22%29&sort=plf-f&sdt=b&sot=b&sl=67&count=10&analyzeResults=Analyze+results&txGid=56592be9c7092cec9bd4a15d5f6d3cbd>> Acesso: 29 out. 2017.

SCOPUS. **Lean Manufacturing e Data Envelopment Analysis por área**. Disponível em: <<https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sid=01906e366e8662817f599564b48dcdcc&origin=resultslist&src=s&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Data+Envelopment+Analysis%22+and+%22LEAN+MANUFACTURING%22%29&sort=plf-f&sdt=b&sot=b&sl=67&count=10&analyzeResults=Analyze+results&txGid=56592be9c7092cec9bd4a15d5f6d3cbd>> Acesso: 29 out. 2017.

SILVA, A. F; MARINS, F. A. S. ; SANTOS, M. V. B . Programação por metas, análise por envoltória de dados e teoria fuzzy na avaliação da eficiência sob incerteza: aplicação em minifábricas do segmento de autopeças. **Gestão & Produção (UFSCAR. Impresso)**, v. 21, p. 543-554, 2014.

SILVA, A. F et al. Bi-Objective multiple criteria data envelopment analysis combined with the overall equipment effectiveness: An application in an automotive company. **Journal of Cleaner Production**, v. 157, p. 278-288, 2017.

TOLOO, M. On finding the most BCC-efficient DMU: A new integrated MIP – DEA model. **Applied Mathematical Modelling**, v. 36, n. 11, p. 5515–5520, 2012.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1992.

WORMARK, James P., JONES, Daniel T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

APÊNDICE A – Matriz original de *inputs* e *outputs*

<i>DMU</i>	<i>Input</i>										<i>Output</i>
	Tempo Total [min]	Tempo de Produção [min]	Tempo de Setup [min]	Tamanho da Ordem de Produção [unidades]	Perdas de Produto [unidades]	Tempo de abertura de OP [min]	Tempo de Apontamento [min]	Tempo de Inspeção	Preenchimento de Documentação [min]	Custo total da produção [BRL]	Taxa de atendimento da ordem de produção
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	Y1
1	44,88	16,15	5,53	10.000	118	4,92	4,90	9,33	4,05	272,89	1,0708
2	38,38	16,93	6,02	15.000	249	4,88	3,43	3,52	3,60	280,33	0,7333
3	37,48	16,17	6,43	15.000	105	3,43	3,27	5,37	2,82	265,55	0,6947
4	38,67	17,02	6,35	15.000	112	3,37	3,27	5,82	2,85	266,37	0,6968
5	39,40	16,77	4,20	10.000	147	4,95	3,70	6,02	3,77	270,14	1,0600
6	46,30	19,17	10,07	20.000	499	3,20	4,50	5,53	3,83	376,05	0,7378
7	34,35	16,23	2,78	15.000	118	3,17	3,50	4,53	4,13	266,98	0,6984
8	48,42	22,03	4,83	15.000	154	4,02	6,20	5,52	5,82	286,14	0,7485
9	36,28	15,92	4,20	15.000	94	3,20	4,25	4,87	3,85	310,81	0,8131
10	34,07	16,87	2,25	10.000	143	3,25	3,03	4,20	4,47	217,74	0,8544
11	43,62	17,70	5,58	15.000	121	3,37	5,87	7,87	3,23	302,25	0,7907
12	38,62	14,95	4,53	10.000	156	3,37	6,25	5,38	4,13	259,54	1,0184
13	41,02	17,98	4,37	15.000	196	3,90	5,98	5,78	3,00	375,34	0,9819
14	37,02	16,02	6,77	10.000	97	4,08	4,15	3,97	2,03	245,88	0,9648
15	40,77	19,28	4,62	20.000	251	4,23	3,27	4,30	5,07	433,85	0,8512
16	40,97	16,37	4,87	10.000	122	3,37	3,93	4,70	7,73	247,92	0,9728
17	40,15	15,20	5,37	10.000	108	3,68	7,18	4,53	4,18	261,27	1,0252
18	43,58	17,70	5,60	10.000	114	2,93	5,70	4,95	6,70	259,54	1,0184
19	40,65	18,57	3,90	15.000	368	3,20	5,38	6,65	2,95	366,47	0,9587

Tabela 3 - Fonte: O Autor (2017)

APÊNDICE B – Índice de Valor Agregado

	VNA	VNA	VNA	VNA	VNA	VNA	VA		
DMU	TEMPO ABERTURA DE OP [min]	TEMPO SETUP [min]	TEMPO INSPEÇÃO [min]	PREENCHIMENTO DE DOCUMENTAÇÃO [min]	TEMPO DE APONTAMENTO [min]	SOMA VNA	TEMPO PRODUÇÃO [min]	TEMPO TOTAL [min]	IVA
1	4,92	5,53	9,33	4,05	4,90	28,73	16,15	73,62	0,5621
2	4,88	6,02	3,52	3,60	3,43	21,45	16,93	59,83	0,7894
3	3,43	6,43	5,37	2,82	3,27	21,32	16,17	58,80	0,7584
4	3,37	6,35	5,82	2,85	3,27	21,65	17,02	60,32	0,7860
5	4,95	4,20	6,02	3,77	3,70	22,63	16,77	62,03	0,7408
6	3,20	10,07	5,53	3,83	4,50	27,13	19,17	73,43	0,7064
7	3,17	2,78	4,53	4,13	3,50	18,12	16,23	52,47	0,8960
8	4,02	4,83	5,52	5,82	6,20	26,38	22,03	74,80	0,8351
9	3,20	4,20	4,87	3,85	4,25	20,37	15,92	56,65	0,7815
10	3,25	2,25	4,20	4,47	3,03	17,20	16,87	51,27	0,9806
11	3,37	5,58	7,87	3,23	5,87	25,92	17,70	69,53	0,6830
12	3,37	4,53	5,38	4,13	6,25	23,67	14,95	62,28	0,6317
13	3,90	4,37	5,78	3,00	5,98	23,03	17,98	64,05	0,7808
14	4,08	6,77	3,97	2,03	4,15	21,00	16,02	58,02	0,7627
15	4,23	4,62	4,30	5,07	3,27	21,48	19,28	62,25	0,8976
16	3,37	4,87	4,70	7,73	3,93	24,60	16,37	65,57	0,6653
17	3,68	5,37	4,53	4,18	7,18	24,95	15,20	65,10	0,6092
18	2,93	5,60	4,95	6,70	5,70	25,88	17,70	69,47	0,6838
19	3,20	3,90	6,65	2,95	5,38	22,08	18,57	62,73	0,8408

Tabela 4 - Fonte: O Autor (2017)

APÊNDICE C – Variáveis Importantes

DMU	<i>Input</i>										<i>Output</i>	Eficiência Otimizada TriO-MCDEA	Meta
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	Y1		
1						Importante	Importante	Importante	Importante		Importante	87,84%	1,13840409
2					Importante	Importante	Importante		Importante		Importante	69,75%	1,43361681
3						Importante	Importante	Importante	Importante		Importante	93,94%	1,06453412
4						Importante	Importante	Importante	Importante		Importante	88,41%	1,1311407
5						Importante	Importante		Importante		Importante	100,00%	1
6			Importante		Importante	Importante	Importante	Importante	Importante		Importante	68,57%	1,4583007
7						Importante	Importante	Importante	Importante	Importante	Importante	91,72%	1,09024488
8						Importante	Importante	Importante	Importante		Importante	67,12%	1,48985304
9						Importante	Importante	Importante	Importante	Importante	Importante	98,96%	1,01051201
10						Importante	Importante	Importante	Importante		Importante	100,00%	1
11						Importante	Importante	Importante	Importante	Importante	Importante	77,26%	1,29429993
12						Importante	Importante	Importante	Importante		Importante	100,00%	1
13						Importante	Importante	Importante	Importante	Importante	Importante	100,00%	1
14						Importante	Importante		Importante		Importante	100,00%	1
15						Importante	Importante		Importante	Importante	Importante	85,46%	1,17012198
16						Importante	Importante	Importante	Importante		Importante	99,17%	1,00840376
17						Importante	Importante		Importante		Importante	90,37%	1,10650714
18						Importante	Importante	Importante	Importante	Importante	Importante	98,51%	1,01511127
19					Importante	99,02%	1,00991894						

Tabela 5 - Fonte: O Autor (2017)