

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 05/04/2019.

**VANIA APARECIDA ROSARIO DE OLIVERA**

**Análise multicritério de indicadores de desempenho utilizados  
na gestão da manutenção industrial**

**Vania Aparecida Rosario de Olivera**

**Análise multicritério de indicadores de desempenho utilizados  
na gestão da manutenção industrial**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de Modelagem Organizacional.

Orientador: Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon

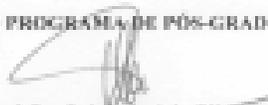
O48a	<p>Oliveira, Vania Aparecida Rosario de Análise multicritério de indicadores de desempenho utilizados na gestão da manutenção industrial / Vania Aparecida Rosario de Oliveira. – Guaratinguetá, 2018. 63 f : il. Bibliografia: f. 57-62</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018. Orientador: Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon</p> <p>1. Processo decisório por critério múltiplo. 2. Manutenção produtiva total 3. Desempenho - Medição I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 65.012.4(043)</p>
------	--

VÂNIA APARECIDA DO ROSÁRIO OLIVEIRA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
"MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO"

PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO: MESTRADO ACADÊMICO

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

  
Prof. Dr. Otávio José de Oliveira  
Coordenador

*BANCA EXAMINADORA:*

  
Prof. Dr. VALÉRIO ANTONIO PAMPLONA SALOMON  
Orientador/UNESP/TEG

  
Prof. Dr. ANEIRSON FRANCISCO DA SILVA  
UNESP/TEG

  
Dr. LEONARDO ANTONIO MONTEIRO PESSOA  
CASNAV/Marinha do Brasil

Outubro de 2018

## **DADOS CURRICULARES**

### **VANIA APARECIDA ROSARIO DE OLIVERA**

**NASCIMENTO** 14.09.1983 – Guaratinguetá / SP

**FILIAÇÃO** Julio César de Oliveira  
Maria Benedita Rosário de Oliveira

**2006/2010** Curso de Graduação  
Bacharelado em Administração  
Centro Universitário Salesiano de São Paulo

**2011/2012** Especialização MBA em Gestão da Produção  
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Aos meus pais e meu irmão, por serem  
inspiração, apoio e motivação para meus  
passos.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, inteligência, família e amigos.

Aos meus pais Julio e Maria, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

Ao meu irmão Geraldo pela dedicação, apoio, incentivo e amizade de todas as horas.

Ao orientador, Prof. Dr. Valério Salomon pela atenção, pronta ajuda e conhecimentos compartilhados, sua orientação e auxílio foram essenciais para realização deste projeto.

A toda equipe da UNESP campus de Guaratinguetá pelo apoio direto ou indireto a realização deste trabalho.

“... O coração do homem dispõe seu caminho,  
mas é o Senhor que dirige seus passos...”

(PROVÉRBIOS, 16:9)

## RESUMO

Os métodos de decisão multicritério têm sido amplamente aplicados as mais diversas problemáticas e áreas do conhecimento, entre essas aplicações observa-se o crescimento em sua utilização relacionada a estudos sobre indicadores de desempenho. Os indicadores de desempenho devem fornecer dados confiáveis sobre as atividades medidas e sua posição atual em relação às metas e políticas previamente estabelecidas pelas organizações. O estabelecimento de um conjunto utilizável de indicadores de desempenho para as áreas funcionais das organizações permite um melhor direcionamento de investimentos e recursos. Entre essas áreas destaca-se a manutenção industrial que tem assumido papel importante na gestão de ativos e tornou-se fundamental para agregação de valor ao empreendimento. A medição do desempenho da manutenção é um processo complexo que envolve vários indicadores com múltiplos critérios e diferentes níveis, por esta razão pode ser formulada como um problema de decisão multicritério. Neste contexto, os modelos de Análise Envoltória de Dados (*DEA, Data Envelopment Analysis*), método não paramétrico baseado em Programação Linear, tem sido aplicados para análise de desempenho de unidades de decisão (*DMU, Decision Making Units*) quando a presença de múltiplas entradas e saídas dificulta a comparação das mesmas. Os modelos Multicritério de Análise Envoltória de Dados (*MCDEA, Multiple Criteria Data Envelopment Analysis*) propõem melhorias em relação ao poder de discriminação dos modelos clássicos. O presente trabalho tem como objetivo analisar os indicadores de desempenho referentes a gestão da manutenção utilizando esses modelos. Realizou-se em quatro etapas a iniciar-se pela coleta de dados por meio da revisão sistemática da literatura sobre o tema, na segunda etapa fez-se a análise comparativa entre os dados do referencial teórico e os dados práticos da organização objeto de estudo. Terceira etapa fez-se a modelagem dos dados do problema segundo o fluxo de aplicação de cada modelo aplicado. Finalizou-se na quarta etapa com a apresentação dos resultados e discussões finais da pesquisa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise envoltória de dados. Decisão multicritério. Gestão da manutenção. Indicadores de desempenho.

## ABSTRACT

The multicriteria decision methods have been widely applied in the most diverse problems and areas of knowledge, among these applications we observe the growth in their use related to studies on performance indicators. The performance indicators should provide reliable data on the activities measured and their current position in relation to the goals and policies previously established by the organizations. Establishing a usable set of performance indicators for the functional areas of organizations allows for better targeting of investments and resources. Among these areas stands out the industrial maintenance that has assumed an important role in management of assets and has become fundamental for adding value to enterprise. The measurement of maintenance performance is a complex process that involves several indicators with multiple criteria and different levels, for this reason can be formulated as a multicriteria decision problem. In this context, Data Envelopment Analysis (DEA), a non-parametric method based on Linear Programming, has been applied for the analysis of the performance of decision units (DMU) when the presence of multiple entries difficult to compare. The Multiple Criteria Data Envelopment Analysis (MCDEA) models propose improvements over the discriminating power of classical models. The objective of this work is to analyze performance indicators related to maintenance management using these methods. It was carried out in four stages to begin with the data collection through the systematic review of literature on the subject, in the second stage the comparative analysis was made between data of the theoretical reference and the practical data of organization object of study. Third, the problem data was modeled according to the application flow of each applied MCDEA method. In the fourth stage it concludes with the presentation of results, final discussions and suggestions for future research..

**KEYWORDS:** Data envelopment analysis. Multi-criteria decision analysis. Maintenance management. Performance indicators.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução de publicações e citações sobre indicadores de desempenho .....	18
Figura 2 - Evolução do número de publicações e citações sobre gestão da manutenção .....	18
Figura 3 - Evolução das publicações e citações indicadores de desempenho e métodos de decisão multicritério .....	21
Figura 4 - Métodos empregados nos estudos analisados .....	21
Figura 5 - Citações por autores.....	22
Figura 6 - Palavras chaves.....	23
Figura 7 - As 10 palavras chave mais utilizadas .....	24
Figura 8 - Linha do tempo das publicações.....	25
Figura 9 - Passos para revisão sistemática da literatura.....	29
Figura 10 - Classificação da pesquisa .....	30
Figura 11 - Fluxograma e protocolo de pesquisa .....	31
Figura 12 - Indicadores da manutenção e os fatores externos e internos.....	34
Figura 13 - Classificação dos métodos .....	38
Figura 14 - Função produtividade e eficiência.....	39
Figura 15 - Distribuição das plantas de produtos químicos de uso industrial no Brasil.....	48
Figura 16 - Participação da indústria química no produto interno bruto total (%)......	49
Figura 17 - Exemplos de indicadores chave de desempenho adotados pela organização .....	50
Figura 18 - Resultados obtidos por modelo .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores considerados como <i>inputs</i> e <i>outputs</i> .....	52
Tabela 2 - Resultados obtidos nos modelos aplicados.....	53

## LISTA DE QUADROS

Quadro1 - Termos de pesquisa .....	19
Quadro2 - Termos Pesquisa termos indicadores de desempenho, métodos multicritério e gestão da manutenção .....	26
Quadro 3 - Artigos publicados combinando os termos indicadores de desempenho, métodos de decisão multicritério e gestão da manutenção .....	27
Quadro 4 - Pesquisa termos indicadores de desempenho, Análise Envoltória de Dados de dados, métodos Multicritério e gestão da manutenção .....	28
Quadro 5 - Principais abordagens com métodos <i>DEA</i> .....	40
Quadro 6 - Modelos <i>MCDEA</i> .....	43
Quadro 7 - Variáveis Input e Output consideradas na modelagem .....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BiO-MCDEA	Bi-objective Multiple Criteria DEA
CMMS	Computerized Maintenance Management System
DEA	Data Envelopment Analysis
DMU	Decision Making Units
EIS	Executive Information System
IOT	Internet Of Things
GAOM	Graphical Analysis for Operation Management
GP	Goal Programming
GPDEA	Goal Programming Data Envelopment Analysis
MCDEA	Multiple Criteria DEA
MCDM	Multi-Criteria Decision-Making
OM	Operations Management
PMM	Performance Measurement and Management
SOP	Standard Operating Procedures
KPI	Key Performance Indicators
RCBIDS	Risk and Condition Based Indicator Decision-making System
WGP-MCDEA	Weighted GP-MCDEA

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	14
1.2	QUESTÕES DA PESQUISA E OBJETIVOS .....	15
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
1.3	JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA .....	16
<b>1.3.1</b>	<b>Bibliometria .....</b>	<b>17</b>
1.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	28
1.5	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	32
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	32
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>33</b>
2.1	INDICADORES CHAVE DE DESEMPENHO.....	33
2.2	GESTÃO DA MANUTENÇÃO.....	35
<b>3</b>	<b>ANÁLISE MULTICRITÉRIO .....</b>	<b>37</b>
3.1	MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO.....	37
3.2	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS). 38	
<b>3.2.1</b>	<b>Modelos CCR e BCC.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Modelos Multicritério de Análise Envoltória de Dados (MCDEA).....</b>	<b>42</b>
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO PRÁTICA .....</b>	<b>48</b>
4.1	DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA .....	48
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>55</b>
5.1	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	55
5.2	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	56
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>57</b>
	<b>APÊNDICE A – PUBLICAÇÕES EM CONGRESSOS .....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as considerações iniciais, questões de pesquisa, objetivos gerais e específicos desta dissertação.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

A definição de métricas de desempenho qualitativas e quantitativas (indicadores) é de fundamental importância para o processo de avaliação e melhoria na gestão de ativos (ISO NBR55002, 2014). Os indicadores de desempenho são informações cruciais para a gestão estratégica das diversas áreas das organizações entre elas a área de gestão da manutenção.

O uso de indicadores objetivos para avaliação de processos colabora para a correção de deficiências e aumento da produtividade de plantas industriais (COLLINS, 2016; KUMAR et al., 2013; MOLINOS-SENANTE et al., 2016).

Indicadores de desempenho podem ser utilizados para medir o desempenho da função manutenção. As empresas devem selecionar um conjunto adequado de indicadores para medir o desempenho dos serviços de manutenção e a influência das práticas implementadas em suas atividades (GONÇALVES; MACHADO, 2015).

A manutenção é uma peça fundamental nas organizações industriais, pois sua eficácia refletirá diretamente na capacidade competitiva. Essa função tornou-se mais significativa para as organizações na busca de atingir seus objetivos estratégicos frente a mercados competitivos. O papel da manutenção tem sido reconhecido como elemento estratégico de geração de receita (MOSTAFA et al., 2015).

A manutenção preventiva é basicamente uma atividade de programada feita como uma medida pró-ativa para reduzir falhas de máquinas e perdas com tempo de inatividade das mesmas (COLLINS, 2016; GONÇALVES; MACHADO, 2015; GRAÇA; CAMARINHA-MATOS, 2016). A manutenção preventiva representa o maior percentual de horas dos recursos empregados na manutenção industrial no Brasil (Congresso Brasileiro de Manutenção, 2015).

Há diversas partes envolvidas no processo de planejamento e gestão da manutenção, todos esses especialistas têm um objetivo em comum: reduzir o tempo de parada de manutenção e aumentar a produtividade da organização (MADHIKERMI et al., 2016).

A medição do desempenho da manutenção é um processo complexo, pois envolve vários indicadores com múltiplos critérios e níveis (RAZA; MUHAMMAD; MAJID, 2016). É

um processo multidisciplinar que leva em conta múltiplos aspectos das atividades de manutenção, por esse motivo a seleção dos melhores indicadores de desempenho de manutenção pode ser considerada uma tarefa complexa, que pode ser formulada como um problema de decisão multicritério (GONÇALVES; MACHADO, 2015).

Os métodos de decisão multicritério MCDM (*Multi-Criteria Decision-Making*) têm sido empregados com êxito em diversos problemas das mais variadas áreas do conhecimento entre elas a análise de indicadores desempenho (ILGIN; GUPTA; BATTIAIA, 2015).

Dentre os métodos mais utilizados destacam-se *Analytic Hierarchy Process* (AHP) que considera múltiplos critérios por meio da divisão hierárquica do problema e o *Data Envelopment Analysis* (DEA) que trata a eficiência, desempenho das alternativas consideradas (MOUSAVI-NASAB; SOTOUDEH, 2017; PODGORSKY, 2015).

## 1.2 QUESTÕES DA PESQUISA E OBJETIVOS

Quais os indicadores chave de desempenho têm sido utilizados para gestão da manutenção industrial?

Há vantagens em utilizar-se os métodos Multicritério de Análise Envoltória de Dados (*MCDEA, Multiple Criteria DEA*) para analisar tais indicadores?

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar indicadores de desempenho referentes a gestão da manutenção utilizando métodos de decisão multicritério.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Identificar quais métodos de decisão multicritério tem sido associados a estudos sobre indicadores de desempenho.

Identificar os principais indicadores de desempenho que têm sido utilizados na gestão da manutenção industrial.

Ilustrar a aplicação de métodos Multicritério de Análise Envoltória de Dados (*MCDEA, Multiple Criteria DEA*) com base nos dados de indicadores de desempenho da gestão da manutenção industrial.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste Capítulo apresentam-se os resultados e discussões assim como sugestões para pesquisas futuras.

### 5.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho buscou responder a questões como quais métodos de decisão multicritério têm sido associados a estudos sobre indicadores de desempenho, quais indicadores têm sido utilizados para gestão da manutenção industrial e se há vantagens em utilizar métodos *MCDEA* nesses estudos. Para tanto além da pesquisa bibliométrica foram realizadas consultas de procedimentos e normas de uma organização industrial e coletados dados reais de indicadores de 16 unidades produtivas para ilustrar a aplicação dos modelos *MCDEA*.

Observou-se que os métodos *AHP*, *DEA* e *TOPSIS* foram os mais utilizados em estudos já publicados sobre indicadores de desempenho, nesse aspecto a proposta de aplicação de modelos *MCDEA* pôde contribuir para o enriquecimento do conhecimento sobre os temas abordados.

Sobre os indicadores utilizados para a gestão de manutenção industrial, constatou-se que os mais utilizados são parte do conjunto de indicadores propostos na norma europeia (BS EN 15341: 2007). Notou-se que esses indicadores são semelhantes aos utilizados na gestão da manutenção da planta industrial estudada. Assim 8 indicadores referentes a gestão da manutenção utilizados por essa organização foram considerados como entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) nos modelos *MCDEA*.

Os dados referentes as 16 unidades produtivas foram inseridos nos modelos *BiO-MCDEA*, *Extended MCDEA* e *WGP-MCDEA*. O resultado obtido nessas formulações foi uma melhor discriminação das unidades produtivas a serem consideradas referências para as demais. Essa comparação ao modelo *CCR* foi realizada com o objetivo de destacar a importância da observação da Regra de Ouro de Banker *et. al* (1989).

Gestores das plantas industriais, analisaram os resultados e consideraram os resultados obtidos nos modelos *BiO-MCDEA* e *Extended MCDEA* como mais realistas. Sendo que o resultado do modelo *BiO-MCDEA* com supereficiência permitiu a melhor hierarquização das *DMUs* consideradas eficientes.

Assim, com base na combinação dos métodos apresentados espera-se com esta pesquisa contribuir para o estudo dos indicadores de desempenho referentes à gestão da manutenção

industrial bem como ilustrar uma aplicação de métodos *MCDEA* utilizando como variáveis de entrada e saída os resultados anuais de alguns indicadores utilizados por uma organização para a gestão da manutenção industrial possibilitando uma visão estratégica desses indicadores nas organizações.

Conclui-se que há vantagens em aplicar os modelos *MCDEA* propostos para análise de indicadores de desempenho, pois seus resultados podem auxiliar na gestão da manutenção possibilitando visão conjunta dos resultados de diversos indicadores e melhor planejamento estratégico nas organizações, direcionando ações a serem tomadas para melhoria do desempenho das unidades ineficientes apontadas nos modelos.

## 5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Em pesquisas futuras, os dados de indicadores de desempenho podem ser coletados nas diversas áreas de atividades e modelados permitindo melhor direcionamento de recursos para entre variáveis consideradas. A teoria dos conjuntos difusos e a tomada de decisões em grupo podem ser incorporadas à proposta de novos modelos. Assim como estudos de medidas e análises de eficiência podem ser associados a tópicos emergentes como *Block Chain*, *Industry 4.0*, *Internet of Things* e incorporação de comparativos entre os resultados dos modelos e a opinião de especialistas das áreas.

## REFERÊNCIAS

- ABU SAMRA, S.; OSMAN, H.; HOSNY, O. Optimal maintenance and rehabilitation policies for performance-based road maintenance Contracts. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, New York, v.31, n.1, p. 1-11, 2016.
- AMIN, G. R.; TOLOO, M. Finding the most efficient DMUs in DEA: An improved integrated model. **Computers and Industrial Engineering**, New York, v. 52, n. 1, p. 71-77, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA, ABIQUIM. **A indústria química**, 2018. Disponível em: <[https://abiquim.org.br/uploads/guias\\_estudos/desempenho\\_industria\\_quimica\\_2017.pdf](https://abiquim.org.br/uploads/guias_estudos/desempenho_industria_quimica_2017.pdf)>. Acesso em: 05abr. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462:1994** Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 55000:2014 - Gestão de Ativos - Visão geral, princípios e terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- BADAWY, M. et al. A survey on exploring key performance indicators. **Future Computing and Informatics Journal**, New Cairo, v. 1, n. 1-2, p. 47-52, 2016.
- BAL, H. et al. Improving the discrimination power and weights dispersion in the data envelopment analysis. **Computers and Operations Research**, New York, v. 37, n. 1, p. 99-107, 2010.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, Providence, v. 30, n. 9, p.1078-1092, 1984.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W.; SWARTS, J.; THOMAS, D. A. An introduction to data envelopment analysis with some of its models and their uses. **Research in Governmental and Non-Profit Accounting**, Amsterdam, v. 5, p. 125-163, 1989.
- BEHZADIAN, M. et al. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operational research**, Amsterdam, v. 20, n.1,p. 198-215, 2010.
- CARLUCCI, D. Evaluating and selecting key performance indicators: an ANP-based model. **Measuring Business Excellence**, London, v.14, p. 66-76, 2010.
- CARRILLO, M.; JORGE, J. M.A multiobjective DEA approach to ranking alternatives. **Expert Systems with Applications**, New York, v. 50, p. 130-139, 2016.
- CENTRE FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY STUDIES, CWTS. **VOSviewer Visualizing scientific landscapes**. Version: 1.6.5, Leiden, 2017. Disponível em: <<http://www.vosviewer.com/download>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.

COLLINS, A. J. et al. An improvement selection methodology for key performance indicators. **Environment Systems and Decisions**, New York, v. 36, n. 2, p. 196-208, 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, CNI. **A importância da indústria no Brasil**, 2018. Disponível em <[https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer\\_public/0e/12/0e12a42c-e9ad-49f5-zbf45e6404408aef/a\\_importancia\\_da\\_industria\\_no\\_brasil\\_maio2018.pdf](https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/0e/12/0e12a42c-e9ad-49f5-zbf45e6404408aef/a_importancia_da_industria_no_brasil_maio2018.pdf)>. Acesso em: 05 maio 2018.

CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 28, 2013, Salvador, BA. **A situação da manutenção no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/sidebar/documento-nacional/resultado-2013>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

DE FELICE F. F.; PETRILLO, A. Absolute measurement with analytic hierarchy process: a case study for Italian racecourse. **International Journal of Applied Decision Sciences**, Philadelphia, v. 6, n. 3, p. 209–227, 2013.

ECKERSON, W. Ten Characteristics of a Good KPI. **The Data Warehousing Institute (TDWI)**, New York, 2006. 209 p.

EMROUZNEJAD, A.; MARRA, M. The state of the art development of AHP (1979–2017): a literature review with a social network analysis. **International Journal of Production Research**, London, v. 55, n. 22, p. 1-23, 2017.

EMROUZNEJAD, A.; YANG, G. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. **Socio-Economic Planning Sciences**, New York, v. 61, p. 4-8, 2018.

ERNNIE, I. B. et al. Preventive maintenance (PM) planning: a review, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Bradford, v. 23, n. 2, p. 114-143, 2017.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. BS EN 15341:2007. **Maintenance key performance indicators**. Brussels, Belgium: CEN, 2007.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados**. Viçosa: UFV, 2009.

FIGUEIREDO, M.V. **Modelo multiobjetivo de análise envoltória de dados combinado com desenvolvimento de funções empíricas e otimização via simulação Monte Carlo**. 2017. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/150767>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

FUENTES, R.; FUSTER, B.; LILLO-BAÑULS, A. A three-stage DEA model to evaluate learning-teaching technical efficiency: key performance indicators and contextual variables. **Expert Systems with Applications**, New York, v. 48, p. 89-99, 2016.

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

GOMES, E. G. et al. Dependência espacial da eficiência do uso da terra em assentamento rural na Amazônia. **Production**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 417-432, 2009.

GOMEZ-JAUREGUI, V. et al. Information management and improvement of citation indices. **International Journal of Information Management**, Guildford, v. 34, n. 2, p. 257-271, 2014.

GONÇALVES, C. D. F.; DIAS, J. A. M.; MACHADO, V. A. C. Multi-criteria decision methodology for selecting maintenance key performance indicators. **International Journal of Management Science and Engineering Management**, London, v. 10, n. 3, p. 215-223, 2015.

GRAÇA, P.; CAMARINHA-MATOS, L. M. Performance indicators for collaborative business ecosystems: Literature review and trends. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 116, p. 237-255, 2017.

GUNASEKARAN, A. et al. Performance measures and metrics in outsourcing decisions: A review for research and applications. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 161, p. 153-166, 2015.

HATAMI-MARBINI, A.; TOLOO, M. An Extended multiple criteria data envelopment analysis model. **Expert Systems with Applications**, New York, v. 73, p. 201-219, 2017.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to operations research**, 8. ed. McGraw-Hill, 2001.

ILGIN, M. A.; GUPTA, S. M.; BATAÏA, O. Use of MCDM techniques in environmentally conscious manufacturing and product recovery: State of the art. **Journal of Manufacturing Systems**, Dearborn, v. 37, p. 746-758, 2015.

INTERNATIONAL SOCIETY ON MCDM, **Mission of the society**, 2017. Disponível em: <<http://www.mcdmsociety.org/content/mission-society>>. Acesso em: 01 maio 2017.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. **Multi-criteria decision analysis**. Chichester: Wiley, 2013.

KHAN, F. **SAP Plant Maintenance**. New Delhi: McGraw Hill Education, 2013.

KANG, N. et al. A Hierarchical structure of key performance indicators for operation management and continuous improvement in production systems. **International Journal of Production Research**, London, v. 54, n. 21, p. 6333-6350, 2016.

KUMAR, U. et al. Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Bradford, v. 19, n. 3, p. 233-277, 2013.

KUMAR, A. et al. A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Enschede, v. 69, p. 596-609, 2017.

- LEE, H.; CHA, J. H. New stochastic models for preventive maintenance and maintenance optimization. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 255, n. 1, p. 80-90, 2016.
- LI, F.; ZHU, Q.; LIANG, L. Allocating a fixed cost based on a DEA-game cross efficiency approach. **Expert Systems with Applications**, New York, v. 96, p. 196-207, 2018.
- LINNÉUSSON, G.; NG, A.; ASLAM, T. **Investigating maintenance performance: a simulation study**. Disponível em: <<http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1044790&dswid=2740>>. Acesso em 16 mar. 2018.
- MADHIKERMI, M. et al. Data quality assessment of maintenance reporting procedures. **Expert Systems with Applications**, New York, v. 63, p. 145-164, 2016.
- MAHAPATRA, B.; MUKHERJEE, K.; BHAR, C. Performance measurement—An DEA-AHP based approach. **Journal of Advanced Management Science**, Barcelona, v. 3, n. 1, 2015.
- MARDANI, A. et al. Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. **Economic Research**, Zagreb, v. 28, n. 1, p. 516-571, 2015.
- MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- MOLINOS-SENANTE, M. et al. Assessing the sustainability of water companies: A synthetic indicator approach. **Ecological Indicators**, New York, v. 61, p. 577-587, 2016.
- MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, Amsterdam, v. 106, n. 1, p. 213-228, 2016.
- MOSTAFA, S. et al. Lean thinking for a maintenance process. **Production and Manufacturing Research**, London, v. 3, n. 1, p. 236-272, 2015.
- MOUSAVI-NASAB, S. H.; SOTOUDEH-ANVARI, A. A comprehensive MCDM-based approach using TOPSIS, COPRAS and DEA as an auxiliary tool for material selection problems. **Materials and Design**, Surrey, v. 121, p. 237-253, 2017.
- MUCHIRI, P. et al. Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 131, n. 1, p. 295-302, 2011.
- PAKKAR, M. S. Using DEA and AHP for hierarchical structures of data. **Industrial Engineering and Management Systems**, Seul, v. 15, n. 1, p. 49-62, 2016.
- PODGORSKI, D. Measuring operational performance of OSH management system: A demonstration of AHP-based selection of leading key performance indicators. **Journal Safety Science**, Amsterdam, v. 73, p. 146-166, 2015.
- RAZA, T.; MUHAMMAD, M. B.; MAJID, M. A. A comprehensive framework and key performance indicators for maintenance performance measurement. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, Islamabad, v. 11, n. 20, p. 12146-12152, 2016.

REZAEIANI, M. J.; FOROUGH, A. A. Ranking efficient decision making units in data envelopment analysis based on reference frontier share. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v.264, n.2, p. 665-674, 2018.

RUBEM, A. P. S.; DE MELLO, J. C. C. B. S.; MEZA, L. A. A goal programming approach to solve the multiple criteria DEA model. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 260, n. 1, p. 134-139, 2017.

SANTOS, A. P. **Resolução do modelo de Li e Reeves usando programação por metas**. 2016. 86 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016. Disponível em:<<https://app.uff.br/riuff/handle/1/4084>> Acesso em: 10 out. 2018.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, New York, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. Absolute and relative measurement with the AHP: the most livable cities in the United States. **Socio-Economic Planning Sciences**, New York, v. 20, n. 6,p. 327-331, 1986.

SAATY, T.L.; OZDEMIR, M. S. Why the magic number seven plus or minus two. **Mathematical and Computer Modelling**, Oxford, v. 38, n. 3-4, p. 233-244, 2003.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G.; WHITAKER, R. Addressing with brevity criticism of the analytic hierarchy process. **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**,Pittsburgh, v. 1, n. 1,p. 121-134, 2009.

SAATY, T. L. **Mathematical principles of decision making**. Pittsburgh: RWS, 2013.

SAATY, T. L.; ERGU, D. When is a decision-making method trustworthy? Criteria for evaluating multi-criteria decision-making methods. **International Journal of Information Technology and Decision Making**, Riveredge, v. 14, n. 06, p. 1171-1187, 2015.

SCOPUS.Elsevier. **Base de dados**. Disponível em: <<https://www.scopus.com>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

SHAFIEE, M.; CHUKOVA, S. Maintenance models in warranty: A literature review. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 229, n. 3, p. 561-572, 2013.

STEFANOVIC, M. et al. An assessment of maintenance performance indicators using the fuzzy sets approach and genetic algorithms. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, Birmingham, p. 1-13, 2015.

STENSTRÖM, C. et al. Performance indicators and terminology for value driven maintenance. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Bradford, v. 19, n. 3, p. 222-232, 2013.

TAVARES, A. D.; GOMES, C. F. S. ISO 55000: The evolution of asset management. **Business and Management Review**, Dübendorf, v. 4, p. 97-103, 2015.

- THOMÉ, A. M. T.; SCAVARDA, L. F.; SCAVARDA, A. J. Conducting systematic literature review in operations management. **Production Planning and Control**, London, v. 27 n. 5, p. 408-420, 2016.
- TOLOO, M.; ALLAHYAR, M.; H., J. A non-radial directional distance method on classifying inputs and outputs in DEA: application to banking industry. **Expert Systems with Applications**, New York, v. 92, p. 495-506, 2018.
- TOLOO, M.; SALAH, M.A powerful discriminative approach for selecting the most efficient unit in DEA. **Computers and Industrial Engineering**, New York, v. 115, p. 269-277, 2018.
- TRAMARICO, C. L. **Avaliação multicritério da educação na gestão da cadeia de suprimentos**. 2016. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016. Disponível em:<<http://hdl.handle.net/11449/144551>>. Acesso em: 19 out. 2017.
- UPASANI, K. et al. Distributed maintenance planning in manufacturing industries. **Computers and Industrial Engineering**, New York, v. 108, p. 1-14, 2017.
- VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: an overview of applications. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 169, p. 1-29, 2006.
- VAN HORENBEEK, A.; PINTELON, L. Development of a maintenance performance measurement framework—using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection. **Omega**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 33-46, 2014.
- VARIAN, H. R., **Microeconomia: princípios básicos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- ZANGHELINI, G. M. et al. A bibliometric overview of Brazilian LCA research. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 21, n. 12, p. 1759-1775, 2016.
- ZAVADSKAS, E. K.; TURSKIS, Z.; KILDIENĖ, S. State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. **Technological And Economic Development Of Economy**, Vilnius, v. 20, n. 1, p. 165-179, 2014.
- WANG, H.A generalized MCDM–DEA (multi-criterion decision analysis–data envelopment analysis) approach to construct slacks-based composite indicator. **Energy**, Oxford, v. 80, p. 114-122, 2015.
- WANG, J.; KOIZUMI, A.; TANAKA, H. Framework for maintenance management of shield tunnel using structural performance and life cycle cost as indicators. **Structure and Infrastructure Engineering**, Bethlehem, v. 13, n. 1, p. 44-54, 2017.
- WILL M. BERTRAND, J.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, London, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.

## APÊNDICE A – PUBLICAÇÕES EM CONGRESSOS

OLIVEIRA, V. A. R.; SALOMON, V. A. P.; SOARES, L. S.; MONTICELI, F. M.; ATILIO, I. . ANÁLISE MULTICRITÉRIO COM DEA E AHP DA SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE AR-CONDICIONADO. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2016, João Pessoa. Anais eletrônicos da Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2016. v. 1. p. 1-9.

OLIVEIRA, V. A. R.; SALOMON, V. A. P. MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO APLICADOS A ANÁLISE DE INDICADORES DE DESEMPENHO - UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2017, Joinville. Anais eletrônicos da Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2017. p. 1-19.