

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FABRÍCIO FREITAS DA SILVA

**MÉTODOS DE ELICITAÇÃO DE PESOS PARA MODELOS DE APOIO
MULTICRITÉRIO À DECISÃO**

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ.
MARÇO DE 2018

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FABRÍCIO FREITAS DA SILVA

**MÉTODOS DE ELICITAÇÃO DE PESOS PARA MODELOS DE APOIO
MULTICRITÉRIO À DECISÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Candido Mendes – Campos - RJ, para a obtenção do grau de mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Claudio Luiz Melo de Souza, D. Sc

Coorientador: Prof. Milton Erthal Junior, D.Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ.
MARÇO DE 2018

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pela Biblioteca da **UCAM – CAMPOS**

015/2018

Silva, Fabrício Freitas da.

Métodos de elicitação de pesos para modelos de apoio multicritério à decisão. / Fabrício Freitas da Silva. – 2018.
81 f.; il.

Orientador: Cláudio Luiz Melo de Souza.
Coorientador: Milton Erthal Junior

Dissertação de Mestrado em Engenharia da Produção – Universidade Candido Mendes – Campos. Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.
Referências: f. 73 – 81.

1. Pesquisa Operacional. 2. Análise multicritério. I. Universidade Candido Mendes – Campos. II. Título.

CDU – 65.012.122

FABRÍCIO FREITAS DA SILVA

MÉTODOS DE ELICITAÇÃO DE PESOS PARA MODELOS DE APOIO
MULTICRITÉRIO À DECISÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Candido Mendes – Campos - RJ, para a obtenção do grau de mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 21 de março de 2018.

Prof. Claudio Luiz Melo de Souza, D. Sc
Universidade Candido Mendes

Prof. Milton Erthal Junior, D.Sc.
Universidade Candido Mendes

Prof. Aldo Shimoya, D.Sc.
Universidade Candido Mendes

Prof. Helder Gomes Costa, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
2018

RESUMO

MÉTODOS DE ELICITAÇÃO DE PESOS PARA MODELOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

A ponderação de pesos de critérios é uma etapa fundamental em problemas de Pesquisa Operacional, principalmente na abordagem Multicritério (AMD). Diante da diversidade de métodos de elicitação de pesos descritos na literatura, a compreensão de suas tipologias, características e aplicabilidades é uma tarefa complexa para pesquisadores e profissionais que demandam essas técnicas. O objetivo desse trabalho foi identificar as técnicas de elicitação de pesos de critérios utilizando o método de Lawshe para seleção e elicitação de pesos de critérios em problemas com múltiplos decisores. O primeiro apresenta uma síntese das funcionalidades dos principais métodos, classificando-os como subjetivos, objetivos, integrados; compensatórios, não compensatórios; único decisor e multidecisor. A revisão de literatura realizada identificou 41 métodos de ponderação de pesos. O segundo trabalho avaliou a eficácia do método de Lawshe para seleção e elicitação de pesos de critérios em problemas com múltiplos decisores. A técnica é fundamentada na aplicação de questionários a especialistas que avaliam os critérios em níveis de importância. A metodologia de Lawshe foi aplicada em um estudo de caso sobre alocação de equipes de manutenção preventiva na indústria petrolífera. A eficácia da metodologia foi contrastada com os métodos Rank-Order Centroid e Variable-Slope Linear, e as diferenças encontradas na elicitação de pesos, discutidas com base em análises estocásticas (correlação linear de Pearson e teste t). O método de Lawshe não exige a ordenação dos critérios por nível de importância e reduz o impacto de informações incertas dos decisores. Os pesos de Lawshe representam de forma fidedigna a importância das preferências dos especialistas em cada critério e consideram que dois ou mais critérios podem assumir pesos iguais. O método foi capaz de reduzir as imprecisões na seleção e elicitação de pesos.

PALAVRAS-CHAVE: Lawshe. Rank-Order Centroid. Variable-Slope Linear.

ABSTRACT

Elicitation of criteria weights for Multicriteria Decision Aid

The weighting of criteria weights is a key stage in Operational Research problems, mainly in the Multicriteria Approach. In the face of the variety of methods for eliciting the weights described in the literature, the understanding of their typologies, characteristics, and applications is a complex issue for researchers and professionals who demand those techniques. The aim of this work was to determine the techniques for the selection of criteria weights using the Lawshe method for the selection and elicitation of criteria weights in problems with multiple decision makers. The first one presents a synthesis of the functionalities of the main methods, classifying them as subjective, objective, integrated; compensatory, non-compensatory; single decision maker and multidecision maker. The literature review identified 41 methods of weighting. The second work assessed the effectiveness of the Lawshe method for selecting and eliciting criteria weights in problems with multiple decision makers. The technique is founded on the application of questionnaires to experts who evaluate the criteria in terms of importance. The Lawshe methodology was implemented in a case study on the allocation of preventive maintenance teams in the oil industry. The efficiency of the methodology was compared with the Rank-Order Centroid and Variable-Slope Linear methods, and the differences found in the elicitation of weights were discussed from stochastic analyses (linear correlation of Pearson and test t). The Lawshe method does not demand the ordering of criteria by importance and reduces the influence of uncertain information from decision-makers. The Lawshe weights reliably illustrate the importance of the preferences of the experts in each criterion and consider that two or more criteria can assume the same weights. The method was able to minimize the inaccuracies in the selection and elicitation of weights.

KEYWORDS: Lawshe. Rank-Order Centroid. Variable-Slope Linear.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Etapas da Metodologia de Pesquisa	18
Figura 2-	Diagrama de Venn	19
Figura 3-	Nuvem de palavras comumente usadas nos abstracts dos documentos que abordam a problemática de ponderação de pesos de critérios.....	21
Figura 4-	Número de publicações por ano.....	22
Figura 5-	Distribuição do número de métodos por continente.....	25
Figura 6-	Métodos subjetivos subdividido em cluster.....	26
Figura 7-	Métodos Objetivos subdivididos em cluster.....	36
Figura 8-	Métodos de elicitação de pesos e suas classificações.....	55
Figura 9-	Procedimentos para aplicação do método de Lawshe.....	58
Figura 10 -	Pesos normalizados dos dozes critérios distribuídos nos três métodos.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Publicações de artigos por periódicos.....	22
Tabela 2-	Distribuição dos métodos de elicitación de pesos de critério	24
Tabela 3-	Critérios e pesos selecionados pelo método Lawshe.....	60
Tabela 4-	pesos dos doze critérios em diferentes métodos.....	62
Tabela 5-	Pesos dos critérios normalizados.....	64
Tabela 6-	Correlação linear de Pearson (r) e teste de t dos diferentes métodos de pesos.....	64

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1- Criteria Importance Through Intercriteria Correlation.....	37
Equação 2- Content Validity Ratio.....	56
Equação 3- Média	56
Equação 4- Variância.....	56
Equação 5- Desvio padrão.....	56
Equação 6- Content Validity RatioCrítico.....	57
Equação 7- Pesos Rank Order Centroid.....	61
Equação 8- Pesos Variable-slope linear.....	62
Equação 9- Normalização de pesos.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MCDA	Multi-Criteria Decision Analysis
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AMD	Apoio Multicritério à Decisão
CIFPR	Consistent Interval <i>Fuzzy</i> Preference Relation
FQFD	<i>Fuzzy Quality Function Deployment</i>
PCA	<i>Principal Components Analysis</i>
FAHP	<i>Fuzzy</i> Analytic Hierarchy Process
TACTIC	Treatment of the Alternatives According To the Importance of Criteria
LINMAP	Linear Programming Techniques for Multidimensional Analysis of Preference
SMART	Simple Multi-attribute Rating Technique Swings
SMATER	Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks
FITtradeoff	Flexible and Interactive Tradeoff method
ROC	Rank-Order Centroid
CROC	Cardinal and Rank Ordering of Criteria
VSL	Linear-Slope Variable
MSD	Minimizing Squared Deviations
MACBETH	Measuring Attractiveness Method by a Categorical based Evaluation Technique
WEESA	Weights Estimation by Evolution Strategy Algorithm
FARE	Factor Relationship
WLS	Weighted Least Square
PWR	Power-Weakness Ratio
wPWR	Weighted Power-Weakness Ratio
CRITIC	Criteria Importance Through Intercriteria Correlation
CCSD	Integration of Correlations with Standard Deviations
<i>GPM</i>	<i>Goal Programming Model</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 OBJETIVO GERAL	13
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3 JUSTIFICATIVA	14
2 ELICITAÇÃO DE PESOS PARA MODELOS MULTICRITERIAIS: UMA REVISÃO SISTEMATIZADA DA LITERATURA.....	15
2.1 RESUMO.....	15
2.2. INTRODUÇÃO	16
2.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.4 METODOLOGIA	18
2.5 RESULTADOS	20
2.5.1 ESTATÍSTICA.....	20
2.6 CARACTERÍSTICAS DOS MÉTODOS	25
2.6.1 MÉTODOS SUBJETIVOS	26
2.6.2 MÉTODOS OBJETIVOS	36
2.6.3 MÉTODOS HÍBRIDOS	38
2.7 DISCUSSÃO.....	39
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
2.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
3 SELEÇÃO E PONDERAÇÃO DE PESOS DE CRITÉRIOS UMA AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO: USO DO MÉTODO LAWSHE.....	51
3.1 RESUMO.....	51
3.2 INTRODUÇÃO	52
3.3 REFERENCIAL TEÓRICO	54
3.3.1 ELICITAÇÃO DE PESOS	54
3.3.2 MÉTODO DE LAWSHE	55
3.3.3 LAWSHE E MULTICRITÉRIO	57
3.4 PROPOSTA METODOLÓGICA	57
3.4.1 SELEÇÃO DE CRITÉRIOS E PESOS.....	57
3.4.2 APLICAÇÃO EM ESTUDO DE CASO	59
3.4.2.2 SELEÇÃO E PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS	59
3.5 COMPARATIVOS COM OUTROS MÉTODOS.....	61
3.6 CONCLUSÃO	65
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A Pesquisa Operacional (PO) tem sua origem e aplicação na área militar. Na década de 1930 ela foi aplicada em sistemas de radares. Os recursos escassos para as atividades militares exigiam o uso eficiente e racional a partir da tomada de decisões nas operações militares. Isto promoveu a formação de Grupos de PO no Reino Unido e Estados Unidos, os quais reuniram cientistas de várias disciplinas para resolver problemas militares. Após a Segunda Guerra Mundial, vários especialistas continuaram difundindo a PO, tendo como foco a logística, a modelagem e o planejamento. De fato, as vantagens competitivas e o aumento dos lucros obtidos por empresas que aplicam a PO se consolidou amplamente no ambiente empresarial (HILLIER e LIEBERMAN, 2006).

O Auxílio Multicritério à Decisão (AMD) é uma subárea da PO que envolve cada vez mais pesquisadores. Os modelos multicritérios são utilizados para resolução de problemas de decisão sobre a ótica de dois ou mais critérios. Estes modelos são caracterizados por avaliar um conjunto de alternativas em relação a vários critérios, visando selecionar, a melhor alternativa (CHOO et al., 1999; WANG e LOU, 2010; CID-LÓPEZ, 2016).

Os estudos, abordagens e aplicações em AMD vêm crescendo sistematicamente na literatura (Köksalan et al., 2011). A abordagem multicritério vem sendo aplicada em

inúmeras áreas, tais como: saúde, negócio, planejamento estratégico, análise de risco entre outras (TODESCHINI et al., 2015).

Deste modo, o auxílio multicritério na tomada de decisão dá apoio aos gestores, a fim de definirem ações que apresentem o melhor desempenho, de acordo com os critérios estabelecidos pela sua relevância ao problema na opinião de especialistas e atores contextuais. Trata-se de um conjunto de métodos capaz de ajudar na tomada de decisões, organizando e avaliando as possibilidades de acordo com os critérios definidos (ALMEIDA, 2011; SAATY e SHANG, 2011).

Um aspecto importante nos modelos multicritérios, que pode influenciar fortemente nos resultados finais do processo decisório, é a relevância que cada critério assume na modelagem (WANG e LOU, 2010). A escolha de pesos de critérios é um fator fundamental para precisão dos modelos de AMD (VAN ITTERSUM et al., 2007). Há muitos métodos propostos para ponderar pesos de critérios encontrados na literatura (LARSSON et al., 2015), estes podem ser classificados em três categorias: subjetivos, objetivos e integrados. Nos métodos subjetivos os especialistas atribuem pesos aos critérios com base na sua percepção e experiência.

Enquanto que, os modelos integrados utilizam tanto informações subjetivas quanto informações científicas e matemáticas (WANG e LOU, 2010). Nesse Contexto, uma das mais importantes questões na modelagem multicritério é possivelmente a avaliação dos pesos de critérios (ALMEIDA et al., 2016). Nos métodos objetivos os pesos são atribuídos a partir de uma matriz de informações científica e matemáticas (modelos matemáticos).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é fazer uma revisão dos modelos de elicitação de pesos de critérios aplicados aos modelos AMD, bem como verificar o método de Lawshe para ponderação de pesos

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 – Fazer uma análise bibliométrica para compilação dos principais métodos de elicitação de pesos presentes na literatura;
- 2 – Analisar os principais métodos de elicitação de pesos e suas características;
- 3 – Verificar o método de Lawshe para ponderação de pesos;
- 4 – Analisar a eficácia da metodologia de Lawshe contrastada com os métodos de Rank-Order-Centroid e Variable-Slope-Linear.

1.3 JUSTIFICATIVA

Existem algumas dezenas de métodos propostos na literatura voltados a ponderação de pesos de critérios aplicados a modelos de AMD. Sendo que, estes métodos estão disseminados e dispersos na literatura científica. Por isso, o objetivo deste estudo foi identificar os trabalhos chaves na área de pesos de critérios em seguida, classificá-los e analisá-los para descobrir lacunas, tendências, e oportunidades de futuras pesquisas. A revisão de literatura foi necessária para explorar a fronteira do conhecimento e identificar novos paradigmas, conforme menciona Seuring e Müller (2008).

2 ELICITAÇÃO DE PESOS PARA MODELOS MULTICRITERIAIS: UMA REVISÃO SISTEMATIZADA DA LITERATURA

2.1 RESUMO

A ponderação de pesos de critérios é uma etapa fundamental em problemas de Pesquisa Operacional (PO), principalmente na abordagem de Apoio Multicritério à Decisão (AMD). Diante da diversidade de métodos de elicitação de pesos presentes na literatura, a compreensão de suas tipologias, características e aplicabilidades é uma tarefa complexa para pesquisadores e profissionais que utilizam estas técnicas. O objetivo deste trabalho é identificar os modelos de elicitação de pesos de critérios propostos na literatura por meio de uma revisão sistematizada. O trabalho apresenta uma síntese das funcionalidades dos métodos, classificando-os como subjetivos, objetivos, integrados, compensatórios, não compensatórios, único decisor e multidecisor. O estudo realizado a partir de um recorte temporal entre 1949 e 2017, identificou 41 métodos de ponderação de pesos. A maior parte dos métodos analisados (34) são subjetivos, (4) são objetivos e apenas (3) integrados. Quanto à relação compensatória, (23) são compensatórios, (18) não compensatórios, por fim, (38) único decisor e (3) Multidecisor. O trabalho contribui para a identificação do estado da arte quanto aos modelos usados para ponderação de pesos em AMD, bem como identifica suas características e funcionalidades no âmbito da modelagem multicritério e serve de base para pesquisadores que trabalham nesta área.

Palavras-Chave: Apoio Multicritério à Decisão. Pesquisa Operacional. Pesos de Critérios.

2.2. INTRODUÇÃO

Os problemas caracterizados como complexos que envolve multidecisores, com mais que de um critério e mais de um objetivo, entre outros, dificultam a tomada de decisão. Neste tipo de abordagem, as alternativas de ação não atendem de forma maximizada a todos os critérios usados na modelagem. Estes problemas podem ser abordados com o uso de técnicas de AMD, uma subárea da PO, que vem chamando atenção de muitos pesquisadores devido à sua aplicabilidade em problemas reais (CARRIZOSA et al., 1995; LIU et al., 2012; ZAVADSKAS et al., 2014). Os modelos de AMD são aplicados para resolução de problemas de decisão. Estes modelos são caracterizados por avaliarem um conjunto de alternativas em relação a vários critérios, visando selecionar, classificar, partilhar ou ranquear alternativas (CHOO et al., 1999; WANG e LOU, 2010; CID-LÓPEZ, 2016). Os estudos, abordagem e aplicações em AMD vêm crescendo sistematicamente na literatura (Köksalan et al., 2011), com aplicações em inúmeras áreas, tais como: saúde, negócio, planejamento estratégico, análise de risco, entre outras (TODESCHINI et al., 2015).

Um ponto importante nos modelos multicritério que pode influenciar fortemente nos resultados finais do processo decisório é a relevância que cada critério assume na tomada de decisão (WANG e LOU, 2010). A ponderação de critérios é um fator fundamental para precisão dos modelos de AMD (VAN ITTERSUM et al., 2007). Há muitos métodos propostos para definir pesos de critérios (LARSSON et al. 2015), os quais podem ser classificados em três categorias: subjetivos, objetivos e integrados. Portanto, uma das mais importantes questões na modelagem multicritério é, possivelmente, a avaliação dos pesos de critérios (ALMEIDA et al., 2016).

Nesse trabalho realizou-se uma revisão sistematizada dos modelos de ponderações de pesos de critérios, buscando estas informações em artigos de periódicos, livros e teses relacionados à modelagem multicritério, a partir de um recorte temporal entre 1949 e 2017. O trabalho apresenta uma síntese das funcionalidades dos métodos subjetivos, objetivos, integrados, compensatórios, não compensatórios, único decisor, multidecisor. Os principais autores, periódicos, continentes e países que contribuíram na construção do conhecimento nesta área foram avaliados. Esta pesquisa contribui para a identificação dos modelos empregados para ponderação de pesos de critérios e serve de base para os pesquisadores que buscam solucionar problemas com modelagens em AMD.

O artigo está organizado de modo que, inicialmente apresenta uma fundamentação teórica do processo de tomada de decisão e elicitação de pesos de critérios. Em seguida, aborda os procedimentos metodológico, apresentam-se os resultados para discutidos. As conclusões, limitações e perspectivas são apresentadas na seção 5.

2.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conforme Zardari et al. (2015) o processo decisório se configura em uma sequência de tarefas. Inicialmente, busca-se especificar o problema e definir os requisitos importantes. Em seguida, definem-se os objetivos e as metas a serem alcançados. O próximo passo consiste em se estabelecer as possíveis soluções ou alternativas. Em seguida, os critérios a serem considerados na modelagem do problema. A etapa seguinte, considerada a mais importante, define o método multicritério a ser empregado de acordo com as características do problema de decisão e sua aplicação. Por fim, faz-se uma análise de sensibilidade do resultado e desempenhos do modelo proposto.

Os problemas de decisão de AMD envolvem vários critérios que devem ser selecionados segundo a importância que assumem na projeção de uma decisão bem fundamentada. A importância que cada critério representado no processo decisório é traduzido no modelo por meio da ponderação de pesos dos critérios. O processo de distribuição de pesos é uma etapa essencial nos modelos multicritérios, uma vez que, essa ação pode influenciar diretamente na tomada de decisão (WANG e LOU, 2010; ALFARES e DUFFUA, 2016; PARAVIDINO et al., 2017).

No entanto, o processo de definição de pesos é geralmente complexo. Dezenas de métodos foram propostos para este tipo de problemática (CHOO et al., 1999; LIU et al., 2012; LARSSON et al., 2015), os quais vêm sendo classificados segundo duas linhas de pensamento. Weber e Borchering (1993) e Chou (2013) propõem que os métodos de elicitação de pesos sejam classificados em: algébrico ou estatístico, holístico ou decomposto, direto ou indireto, compensatório ou não compensatório. Tzeng et al. (1998) e Ma et al. (1999) sugerem que estes métodos possam ser separados em dois grupos: métodos subjetivos e objetivos. Na abordagem subjetiva, as ponderações refletem as imprecisões e incertezas dos julgamentos dos decisores.

Por outro lado, na abordagem objetiva, os julgamentos são feitos por meio de modelos matemáticos, inibindo as imprecisões dos julgamentos dos decisores. Wang e Lou (2010) adicionaram a classificação integrado, que combina estas duas situações: informações subjetivas dos decisores e informações objetivas tratadas matematicamente.

2.4 METODOLOGIA

Este trabalho utiliza os modelos adaptado de Freitas e Costa (2017) e Pereira e Costa (2015), que propõem técnicas específicas para a realização de uma revisão sistematizada da literatura, descrita em cinco passos: (1) definição da base de pesquisa; (2) refinamento da pesquisa; (3) seleção dos artigos de estudo; (4) análise estatística dos artigos de estudos; (5) análise da revisão dos artigos selecionados.

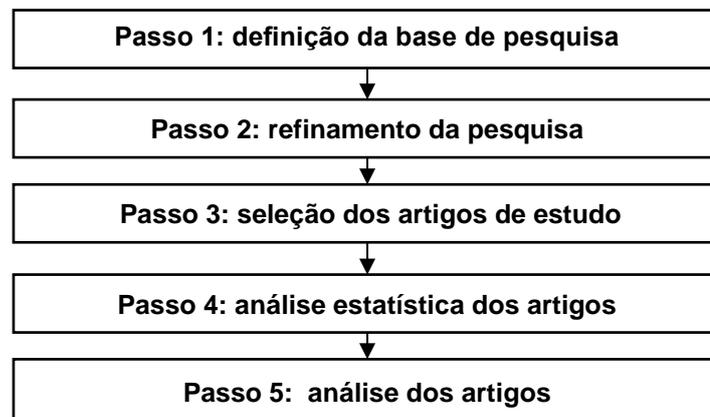


Figura 1 – Etapas metodológica.
Fonte: Elaboração Própria

Com o propósito de mapear a fronteira do conhecimento, a base de dados Scopus foi consultada para elencar artigos científicos relacionados aos métodos de elicitação de pesos de critérios. Esta seção explica como procedeu-se a triagem dos artigos na base de dados Scopus. A pesquisa limitou-se ao levantamento da produção científica dos últimos 36 anos (1981-2017), sendo esta pesquisa realizada em agosto de 2017. Esta etapa não considerou teses, revisões e artigos de conferências, sendo restringida somente aos artigos de periódicos. Para seleção dos artigos, utilizaram-se os caracteres booleanos “AND” e “OR”. No campo de busca, usaram-se os seguintes

termos “Multicriteria decision making”, “MCDM”, “MCDA”, “Multiple criteria analysis” para selecionar os artigos de multicritério, representado na Figura 2 pela letra (M). A seleção de artigos associados à elicitação de pesos foi realizada com os seguintes termos: “Determine the relative weights”, “Elicitation criteria weights”, “Ranked criterion weights” “Criteria weight” e representado pela letra (W). A pesquisa foi efetuada sobre resumos, títulos de artigos e palavras-chave. A Figura 2 apresenta os quantitativos encontrados por estas duas pesquisas e o quantitativo da interseção entre as mesmas.

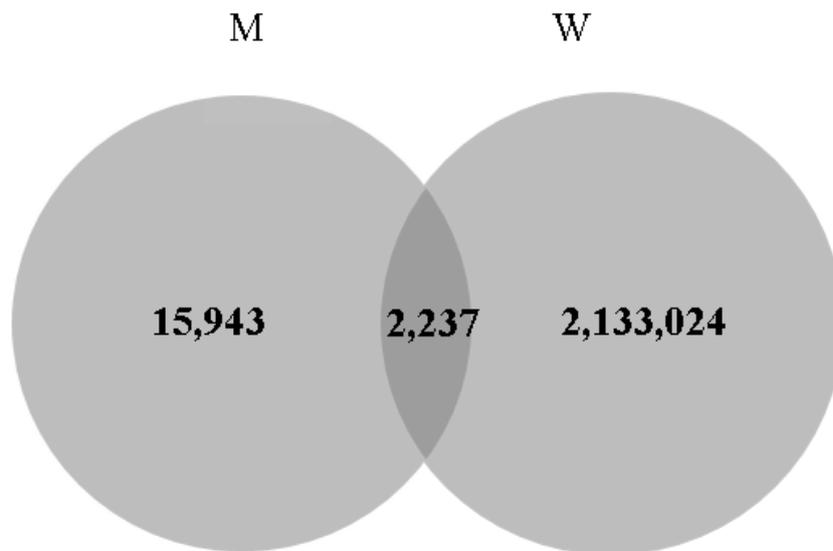


Figura 2 - Diagrama de Venn.
Fonte: Adaptado da base SCOPUS (2017)

A expressão de pesquisa utilizada ((("Multicriteria decision making" OR "MCDM" OR "MCDA" OR "multiple criteria analysis" OR "multicriteria") AND ("determine the relative weights" OR "elicitation of criteria weights" OR "ranked criterion weights" OR "criteria weight" OR "attribute weight" OR "weight"))) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar ")). A pesquisa na base de dados retornou um total de 2.237 artigos. Após uma extensa revisão dos títulos, resumos e palavras-chave, foi selecionado um conjunto de artigos que servem de base para uma análise mais detalhada do tema de interesse. A partir da amostra de 1981-2017, a pesquisa foi expandida a outros documentos científicos (livros e teses), que abordam as metodologias de ponderação de pesos dos critérios. Deste modo, foram localizados um total de 39 documentos científicos para uma análise aprofundada destes métodos.

Esta análise mostrou que existem documentos de interesse desde a primeira metade do século XX, desta forma, a análise final compreendeu o período entre 1949 e 2017.

Com o objetivo de avaliar a aderência dos artigos com o tema proposto e os termos mais recorrentes nestas publicações, seguiu-se o procedimento proposto em Jesus e Costa (2015), com a inserção dos “abstracts” dos artigos analisados no aplicativo “Wordle”. Em seguida, os trabalhos foram analisados quanto à periodicidade das publicações, periódicos, principais autores, países e continentes.

Após a seleção dos artigos mais importantes, os métodos de elicitación de pesos de critérios foram analisados e categorizados em subjetivos, objetivos, integrados, compensatórios, não compensatórios, único decisor e multidecisor.

2.5 RESULTADOS

Esta seção mostra os resultados da pesquisa, está estruturada em duas seções: estatísticas da pesquisa e caracterização de métodos.

2.5.1 ESTATÍSTICA

A Figura 3 apresenta uma nuvem de palavras, a qual foi gerada a partir da inserção dos abstracts dos artigos no aplicativo Wordle. Nesta nuvem, observa-se que os termos “criteria”, “weights”, “decision”, “method”, “preference”, e possuem maior destaque, indicando aderência com o escopo da pesquisa. Estes termos representam a maior frequência de ocorrência nos resumos dos artigos analisados.

A Figura 4, mostra os resultados quantitativos do número de artigos publicados em relação aos métodos de ponderação de critérios por ano. Entre os períodos de 1949-1981; 1990-1998; 2000-2002; 2013-2014, somente há um artigo indexado por ano, no período de 1999; 2008-2012, há dois artigos indexados. Observa-se que houve picos nos períodos de 1986, 2015. No período de 2015, houve um maior volume de artigos indexados

A Tabela 1, apresentam-se os periódicos que mais publicaram artigos sobre o tema em questão. Os periódicos que mais publicaram sobre o tema em questão, são eles “European Journal of Operational Research (EJOR)” (29%); Omega (9%); “International Journal of Information Technology and Decision Making (IJITDM)” (6%), “Applied Soft Computing (ASC)” (6%), e “Computers & Operations Research” (6%). O EJOR apresentou maior número (10) de arquivos indexados, pois os artigos contribuíram com novas teorias e metodologias de ponderações de critérios no contexto da tomada de decisão.

Tabela 1 – Registro de artigos por periódicos

Journal	Artigos	%
European Journal of Operational Research	10	29
Omega	3	9
International Journal of Information Technology & Decision Making	2	6
Applied Soft Computing	2	6
Computers & Operations Research	2	6
Psychometrika	1	3
Acta Psychologica	1	3
Applied Mathematics and Computation	1	3
Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems	1	3
Expert review of pharmacoeconomics & outcomes research	1	3
<i>Fuzzy Sets and Systems</i>	1	3
IEEE transactions on systems, man, and cybernetics	1	3
Information Sciences	1	3
International Journal of Applied Decision Sciences	1	3
Journal of Optimization theory and applications	1	3
Mathematical and Computer Modelling	1	3
Organizational behavior and human decision processes	1	3
Organizational behavior and human performance	1	3
International transactions in operational Research	1	3
Journal of Multi-Criteria Decision Analysis	1	3

Fonte: Adaptado da base SCOPUS (2017)

Na Tabela 2, apresenta-se a distribuição dos métodos de elicitación de pesos de critério por classificação e autores. O texto de Stillwell et al. (1986) se destacou com três métodos publicados em um único artigo e Edwards e Barron (1994), com dois métodos publicados em um único artigo. Observa-se a predominância de um método publicado por registro de texto. Os números de citações baseiam-se na base de dados Scopus (número de artigos por periódicos) e Google Acadêmico (livros e teses). Destacam-se dois textos com maior número de citações, o livro de Keeney & Raiffa (1976), com 15.259 mil citações; isto se explica por ser um livro clássico no âmbito AMD. O segundo texto mais citado, Saaty (1980), apresenta 2435 citações, das quais 33, do Google acadêmico e 2402, da Scopus. O elevado número de citações destes trabalhos pode ser justificado por serem métodos multicritério que possuem em seus procedimentos uma etapa própria de ponderação de pesos. O número de citações não significa que estes métodos foram os mais aplicados, mas somente os mais referenciados por outros autores.

Dos 41 métodos encontrados, 34 são subjetivos, ou seja, envolvem os julgamentos dos decisores na ponderação de pesos. Propostas de métodos objetivos, que não envolvem os decisores, somam 4 dos trabalhos encontrados e 3 híbridos. O método de Ma et al. (1999) propõe a integração destes métodos. Quando analisados sob a ótica compensatória, caracterizada pelo “Trade-off”, onde a mudança do peso de um único critério promove a alteração dos pesos dos demais critérios, predominam os métodos compensatórios com 23 das publicações. Os métodos não compensatórios, sem “Trade-off”, compreendem 18 do total. Quanto ao número de decisores que participam do processo decisório, 38 artigos abordam métodos com um único decisor, enquanto apenas 3 abordam métodos multidecisores

Tabela 2- Distribuição dos métodos de elicitação de pesos de critério

Métodos	A	B	C	Autores	Citação
Wls method	1	1	1	Chu et al. (1979)	234
Elicit method	1	2	2	Diaby et al. (2016)	0
Entropy weight	2	2	1	Shannon e Weaver (1949)	535
Linmap	1	2	1	Srinivasan et al. (1973)	273
Swing weighting	1	1	1	Von Winterfeldt and Edwards (1986)	53
Tradeoff	1	1	1	Keeney and Raiffa (1976)	15295
Smarts	1	1	1	Edwards and Barron (1994)	404
Smarter	1	1	1	Edwards and Barron (1994)	404
Roc	1	1	1	Barron (1992)	51
Rank sum	1	1	1	Stillwell et al. (1981)	143
Rank reciprocal	1	1	1	Stillwell et al. (1981)	143
Rank exponent	1	1	1	Stillwell et al. (1981)	143
Ratio weighting	1	1	1	Edwards (1977)	399
Ahp	1	1	1	Saaty (1980)	2435
Gpm	3	2	2	Shirland (2003)	31
FTtradeoff method	1	1	1	Almeida et al. (2016)	12
Vsl	1	1	1	Alfares and Duffua (2008)	13
Cifpr	1	1	1	Liu et al. (2012)	43
Ma et al.'s	3	2	1	Ma et al. 1999	241
Ccsd	2	2	1	Wang and Lou (2010)	71
LP-Mrpo	3	1	1	Yang (2017)	1
Z-numbers	1	2	1	Sotoudeh-Anvari e Sadi-nezhad (2015)	4
Fahp	1	2	1	Torfi et al. (2010)	135
Fqfd based on rpr	1	1	1	Wang-Jie (2014)	8
Msd	1	1	1	Ahn (2017)	1
Tactic	1	2	2	Vansnick (1986)	81
Simos weighting	1	2	1	Simos (1990a, b)	a49, b222
Critic method	2	2	1	Diakoulaki et al. (1995)	148
Robust simos	1	2	1	Siskos and Tsotsolas (2015)	4
Centralized weights	1	1	1	Solymosi et al. (1986)	74
Hinkle's 'resistance to change' grid.	1	2	1	Roger and Bruen (1998)	88
Wpwr	1	1	1	Todeschini et al. (2015)	3
Fare	1	1	1	Ginevičius (2011)	33
Revised simos weighting	1	2	1	Figueira and Roy (2002)	175
Macbeth	1	1	2	Costa and Vansnick (1994)	157
Weesa	1	1	1	Srdjevic e Srdjevic (2011)	11
Croc	1	1	1	Larsson et al. (2015)	0
Extended use of the cards procedure	1	2	1	Pictet and Bollinger (2008)	11
Mean weight	2	2	1	Deng et al. (2000)	387
Rowley	1	2	1	Rowley et al. (2015)	3
Task oriented weighting	1	2	1	Yeh et al. (1999)	55

Fonte: Elaboração Própria

Nota: A -Categoria: 1- subjetivo; 2 - objetivo; 3 – Híbrido; B- Compensação: 1 - Compensatório; 2 - Não compensatório ; C- Número de decisores: 1 - único decisor; 2- múltiplos decisores.

2.6.1 MÉTODOS SUBJETIVOS

Os métodos subjetivos foram subdivididos em cluster de similaridades, dentre estes: *Fuzzy*, uso de cartões, programação linear, trade-off, swing, ordenação, (estatísticos e algébricos), uso de vetores (Figura 6).

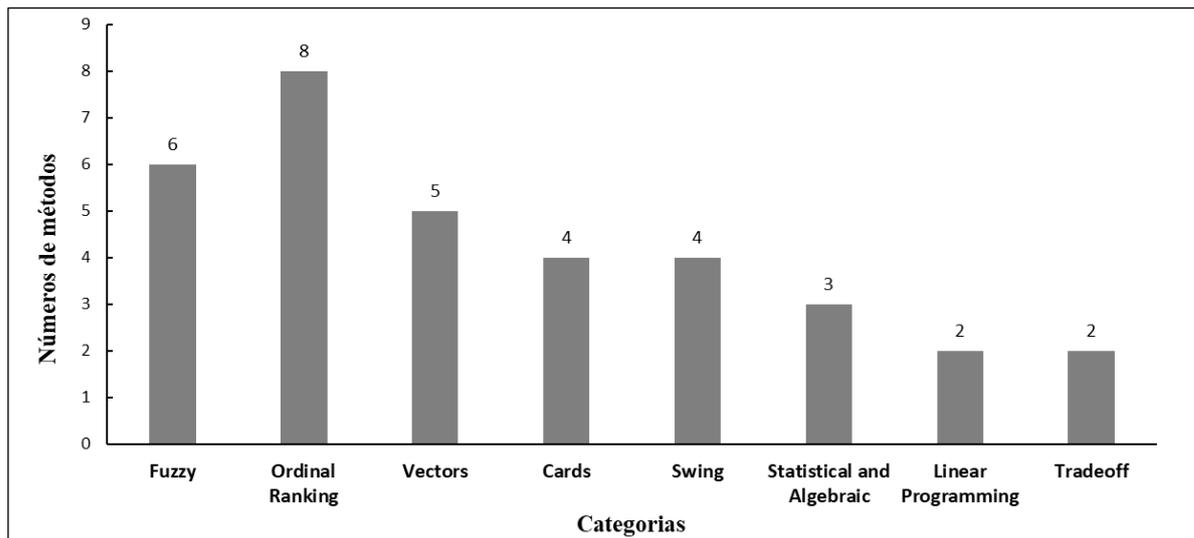


Figura 6 - Métodos subjetivos subdividido em cluster.
Fonte: Elaboração Própria

- ***Fuzzy***

Alguns métodos subjetivos empregam a teoria dos conjuntos nebulosos, ou lógica *Fuzzy*, em sua concepção. Yeh et al. (1999) desenvolveram o Task Oriented Weighting, em que os pesos são obtidos por meio da relação dos critérios com determinados requisitos de tarefas ou fatores. A avaliação de influência de cada requisito de tarefa na ponderação de pesos pode ser representada por um conjunto de regra *Fuzzy* IF-THEN. Nessa regra, as variáveis linguísticas são utilizadas para avaliar a relação entre os requisitos de tarefas (T1, T2...Tn) e os critérios (C1, C2...Cn). As variáveis linguísticas são representadas por números *Fuzzy* triangulares ou trapezoidais para facilitar o processo computacional. Para definir os pesos, primeiro

determinam-se os pesos de critérios básicos independente dos requisitos de tarefas. Estes pesos básicos podem ser atribuídos diretamente pelo decisor ou utilizando outros métodos de ponderação como, por exemplo, o Analytic Hierarchical Process (AHP) proposto por Saaty (1980). Os autores demonstraram a aplicação do método em um estudo de caso em uma empresa de dragagem na China, analisando qual era a melhor forma de dragar um rio.

Técnicas *Fuzzy* também foram aplicadas por Liu et al. (2012), que desenvolveram o Consistent Interval *Fuzzy* Preference Relation (CIFPR). Neste método, os pesos são definidos por uma relação de superação, em que os intervalos de preferência *Fuzzy* são transformados em relação de preferência multiplicativa. Este método pode ser compreendido a partir dos seguintes passos: 1) considera um problema de decisão com um conjunto finito de alternativas, os decisores julgam as alternativas com base em intervalos de preferência *Fuzzy*; 2) os intervalos de preferência *Fuzzy* são transformados em relação de preferência multiplicativa; 3) verifica a consistência; 4) obtém os vetores de pesos; 5) define a matriz de grau de possibilidades; 6) utiliza-se um método simples de eliminação de linha e coluna para obter o vetor de ordenação a partir da matriz de grau de possibilidades.

Sotoudeh-Anvari e Sadi-Nezhad. (2015) aplicaram o método Z-numbers, que usa a teoria dos conjuntos nebulosos para gerar pesos de critérios. Este método é uma adaptação do trabalho de Zadeh (2011), que propõe uma nova concepção *Fuzzy* que aborda, de forma mais eficiente, as subjetividades das informações. Comparado a outros métodos *Fuzzy*, o Z-numbers tem mais aptidão para lidar com as incertezas das informações. Este método consiste em dois componentes, conforme o modelo: $Z = (N, M)$. O componente N é uma restrição do valor real de uma variável, enquanto o componente (M) mede a certeza do primeiro componente. Este método pode ser aplicado em inúmeras áreas, tais como econômicas, análise de decisão, avaliação de risco, previsão, entre outras.

Wang-Jie (2014) desenvolveu o método *Fuzzy* Quality Function Deployment (FQFD), que integra o método Relação de Preferência Relativa com os modelos *Fuzzy* para elicitar pesos de critérios. O método da Relação de Preferência Relativa foi proposto para evitar a multiplicação dos números *Fuzzy* triangulares ou trapezoidais. Os pesos dos critérios ajustados são determinados por uma equação que substitui os pesos originais mediante a relação de preferência relativa. Este método pode ser descrito nos seguintes passos: 1) define-se o objetivo do problema e seus critérios; 2)

especialistas julgam os critérios por meio de termos linguísticos; 3) expressa-se os termos linguísticos em números *Fuzzy*; 4) calcula-se a média de importância *Fuzzy*; 5) determina-se o grau de preferência do nível de importância; 6) define-se a matriz de pesos ajustados; 7) calculam-se as médias dos pesos ajustados; e 8) determina-se o grau de preferência relativa das médias dos pesos ajustados.

Rowley et al. (2015) apresentaram o método “Integral Choquet” para formular pesos mediante Análise de Componente Principal (PCA), que verifica as interações entre critérios. Este é um método de agregação de múltiplos objetivos, em que o decisor define suas preferências sobre múltiplos critérios. A Integral de Choquet é um operador de agregação que generaliza a média aritmética ponderada quando os critérios interagem entre si, fundamentado em medida *Fuzzy*. A lógica *Fuzzy* determina a importância de cada conjunto de critérios em vez de considerá-los independentes. Esta abordagem foi aplicada em dois estudos de casos na área ambiental.

Torfi et al. (2010) aplicaram o *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (FAHP) para ponderação de pesos de critérios. Este método consegue lidar com as incertezas e as subjetividades dos julgamentos. O decisor julga os critérios por meio de termos linguísticos, que são convertidos em números *Fuzzy* triangulares. Os números *Fuzzy* triangulares são utilizados para comparação por pares para determinar pesos. Este método pode ser sumarizado nas seguintes etapas: 1) a matriz de comparação de critérios é normalizada entre [0,1]; 2) verifica a consistência da matriz normalizada; 3) aplica a função de pertinência na matriz normalizada; e 4) calcula os pesos de critérios *Fuzzy*. Outras formas de uso do AHP para a ponderação de pesos serão apresentadas em outro item deste setor.

- **Cartões**

Simos (1990a,b) apresentou o SIMOS Weighting Method, que permite aos decisores pensarem e expressarem suas percepções em uma estrutura hierárquica de diferentes conjuntos de critérios em um dado cenário. Esta técnica informa aos especialistas os dados necessários para atribuição de valores quantitativos ao conjunto de critérios. Este procedimento pode ser descrito em cinco passos: 1) Cada decisor seleciona n cartões coloridos, que representam os n critérios do problema. Em cada cartão, é descrito o nome do critério e seu objetivo. Cartas em branco são

utilizadas para separar as cartas coloridas, caso seja necessário; 2) O decisor organiza os cartões do menos essencial ao mais essencial. É permitido ao decisor agrupar cartões de diferentes cores em uma mesma posição, indicando que estes critérios apresentam pesos semelhantes; 3) os decisores inserem os cartões brancos entre os cartões coloridos para expressar sua preferência. Quanto maior o número de cartões brancos, maior a diferença entre os pesos dos critérios; e 4) Os pesos médios são calculados e normalizados de acordo com a ordenação das cartas coloridas e o distanciamento destas cartas, definido pelo número de cartas brancas entre as cartas coloridas.

A partir dos procedimentos de Simos, Figueira e Roy (2002) foi desenvolvido Revised Simos Weighting. O procedimento revisado de SIMOS diferencia-se do método padrão em três aspectos: (a) adiciona novas informações dos decisores; (b) organiza as informações para a normalização dos pesos; (c) utiliza um novo método de normalização de pesos, que reduz a imprecisão do arredondamento. Estes procedimentos melhoram a proporção de pesos atribuídos entre os critérios mais essenciais e menos essenciais e altera certas regras computacionais do método anterior.

Para resolver determinadas lacunas dos modelos anteriores e conferir maior robustez, Siskos e Tsotsolas (2015) desenvolveram o Robust Simos Method baseado no método Simos Weighting Method. Estes autores propuseram um algoritmo para a fase de inicialização dos procedimentos. Este procedimento consiste em transformar a hierarquia de critérios, proposta pelos decisores, em poliedros n -dimensionais convexo P , onde P é definido por todas as restrições lineares do modelo. Em seguida, são usados procedimentos holísticos, realizados em dois estágios, o que confere maior controle da robustez. O primeiro estágio analisa a estabilidade de pesos de critérios, o segundo estágio do procedimento avalia o resultado do modelo de decisão.

Com enfoque similar (uso de cartões), Pictet e Bollinger (2008) apresentaram o "Extended use of the cards procedure". Neste método, os cartões são representados pelos nomes dos critérios. Este procedimento divide-se em três etapas: (1) organização dos cartões para obter uma ordem inicial dos critérios; (2) inserção de cartões brancos entre os cartões de critérios para indicar a diferença de importância; (3) apresentação de uma relação de importância f entre os critérios mais essenciais e menos essenciais. O método ordena os critérios de forma inversa; em caso de igualdade, os cartões devem ser colocados na mesma posição. Em seguida, calcula

os pesos por meio de uma fórmula pré-determinada.

- **Programação linear**

Alguns métodos usam a programação linear como princípio. Srinivasan e Shocker. (1973) desenvolveram o modelo LINear programming techniques for Multidimensional Analysis of Preference (LINMAP). Este modelo analisa os julgamentos individuais de cada decisor, estimando as coordenadas de pontos ideais e pesos para análise de julgamento das preferências. A relação de preferência é dada mediante as comparações pareadas em um conjunto de alternativas. O modelo considera dados de preferência ordinal ou de intervalos.

Outro método que usa programação linear foi proposto por Vansnick (1986), que desenvolveu o “Treatment of the Alternatives according to the Importance of Criteria (TACTIC)”. O TACTIC é um método não compensatório, que utiliza, em sua abordagem, vetores de pesos aditivos. Este método trata, de maneira criteriosa, dos detalhes das informações fornecidas pelos decisores, buscando não exceder as características das informações. Os pesos dos critérios são determinados por um algoritmo e por uma programação linear. Este método baseia-se em quatro estágios: a) O decisor fornece informações sobre os critérios; b) Em seguida, os dados obtidos na primeira etapa são processados por um algoritmo que faz a ponderação de pesos e define um valor para um parâmetro a partir de informações extraídas na primeira etapa; c) A terceira etapa consiste em processar os dados em um algoritmo que trabalha as interações globais no conjunto de alternativas; e d) Para finalizar, o método TACTIC ilustra, de forma gráfica, a relação de preferência global, o que facilita o entendimento do decisor.

- **Swing Weight**

Edwards (1977) desenvolveu o método “Ratio Weighting”. O decisor classifica os critérios pertinentes de acordo com sua importância, onde os critérios menos importantes recebem valor 10 e os outros, ponderados em múltiplos de 10. Sendo os

resultados normalizados em uma escala de 0 a 1.

Von Winterfeldt e Edwards (1986) propuseram o “Swing Weighting”. Este método consiste em incluir, na matriz de avaliação, uma alternativa hipotética, que contempla o pior desempenho em todos os critérios, tendo, assim valor 0. Esta alternativa é usada como parâmetro de comparação. Em seguida, os critérios são ranqueados por ordem de preferência do decisor, que estipula a ordenação respondendo a seguinte questão: Suponha que você tenha que escolher esta alternativa, se você pudesse melhorar o desempenho dela qual critério seria melhorado? Este procedimento deve ser empregado em todos os critérios até que estes sejam ordenados. À medida que, um critério é avaliado, atribuindo-se peso, ele é separado do processo para facilitar a ponderação de pesos dos outros critérios. Ao critério mais importante, atribui-se o valor 100. Os outros critérios são avaliados concedendo um valor inferior a 100. Finalmente os pesos são normalizados.

Edwards e Barron (1994) apresentaram os métodos “Simple Multi-attribute Rating Technique Swings (SMARTS)” e “SMART Exploiting Ranks (SMATER)”, que utilizam funções de valores lineares. O método SMARTS visa eliminar a complexidade do julgamento, explorando a ordenação dos critérios conforme sua importância relativa e, para isso, usa o procedimento de pesos por swing. O método SMATER utiliza o procedimento formalmente justificável de ponderação de critérios proposto por Barron (1992); Barron e Barrett (1996).

- **Trade-off**

Alguns métodos usam o princípio de trade-off, em que os pesos refletem, de maneira compensatória, a importância de um critério em relação ao outro. Keeney and Raiffa (1976) apresentaram o Trade-off weighting, que consiste em uma função matemática, que integra as informações dos múltiplos critérios de maneira que as alternativas representem uma função de valor. O modelo estruturado por esta metodologia permite que os decisores comparem duas alternativas hipotéticas, que se distinguem apenas em dois critérios, permanecendo iguais nos demais critérios. O decisor altera a pontuação das alternativas à luz de cada critério, de maneira a obter inequações que permitam a definição dos pesos dos critérios. Este método utiliza as inequações para determinar os valores dos pesos dos critérios, tendo como base um critério inicial com peso pré-estabelecido.

Para melhorar a utilização do trade-off tradicional, Almeida et al. (2016) criaram o método “Flexible and Interactive Trade-off (FITtradeoff)”, facilitando o uso para o decisor e mantendo sua estrutura axiomática. Este método possui procedimentos que podem ser facilmente modificados e adaptados às diferentes condições e circunstâncias. A implementação do processo de elicitación não segue, necessariamente, todos os passos padrões, o que torna o método ajustável a diferentes modelagens. Assim, cada etapa do procedimento pode ser usada de acordo com diferentes etapas durante o processo.

- **Ordenação**

Existem métodos que usam como princípio a substituição de pesos, em que os decisores expressam a importância dos critérios por meio de ordenação. Neste contexto, Stillwell et al. (1981) desenvolveram três métodos: “Rank Sum Weights (RS)”, “Rank Reciprocal Weights” e “Rank Exponent Weight”. No método Rank Sum Weights, os critérios são ordenados; em seguida, atribui-se os pesos a partir da relação de importância dos critérios e a soma das posições que são decrescidos linearmente. O Rank Reciprocal Weights tem como base o RS, porém, os pesos são atribuídos por normalizações recíprocas (números invertidos). Já o método Rank Exponent Weights é uma generalização do RS. O decisor julga os pesos dos critérios mais importantes em uma escala de 0 e 1, que é formulado por meio de processos interativos.

Considerando o princípio de substituição de peso, Solymosi et al. (1986) propuseram o método “Centralized Weights”, que é um método interativo, no qual o decisor expressa a importância dos critérios mediante a comparação ordinal. Neste método, a relação “mais importante” é assumida como um semi-ordenado. Durante o processo, um conjunto viável de pesos e um valor limiar α são restringidos de acordo com o julgamento do decisor. Os pesos e o valor α são obtidos por combinações convexas.

Outro método ordinal, o “Rank-Order Centroid” (ROC), proposto por Barron (1992) e formalmente apresentado em Barron e Barrett (1996), utiliza informações ordinais para atribuição de pesos, que são obtidos a partir de uma análise das informações subjetivas dos *ranks*. Este método reduz o erro máximo de cada peso de critério por meio da identificação do centroide de todos os pesos possíveis,

respeitando a ordem de classificação de importância objetiva. A partir dos vértices de um simplex os pesos dos centroides são definidos para cada critério.

Com base no ROC, Larsson et al. (2015) desenvolveram o método Cardinal and “Rank Ordering of Criteria (CROC)”, que consiste em duas etapas. A primeira etapa, denominada extração, envolve a interação com os decisores, que estes julgam a distância entre os critérios para obter pesos cardinais. Esta etapa é subdividida em três passos: (i) os *ranks* ordinais são obtidos por decisores, em que os critérios são ordenados do mais essencial ao menos essencial. O critério mais importante é disposto na parte superior e o menos importante, na parte inferior; (ii) o decisor avalia a distância máxima entre os critérios; (iii) os critérios são transformados em cardinais de acordo com a *rank* obtido no passo i. A segunda etapa é a fase de interpretação, na qual as informações obtidas são processadas em ponderações de pesos cardinais. A partir de procedimentos de ordenação, Alfares and Duffua (2008) desenvolveram o método variable-slope linear (VSL), que transforma uma classificação ordinal em pesos numéricos. Esta abordagem desenvolve uma simples expressão matemática para definir os pesos do atributo em função de sua classificação e da quantidade total de atributos. Ahn (2017) desenvolveu um método de peso de critérios chamado desvios de mínimos quadrados de minimização (MSD), uma extensão do método de ponderação de ROC. O método de pesquisa localiza os barycentros dos pesos dos critérios, minimizando a soma dos quadrados de cada vértice.

- **Vetores**

Bana e Costa et al. (1994) desenvolveram o método “Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique (MACBETH)”. Esta abordagem permite ao decisor ou grupos de decisores avaliar alternativas por meio de julgamentos qualitativos sobre diferença de atratividade. O decisor expressa seu julgamento com base em uma escala semântica formada por seis categorias: (C1) diferença de atratividade muito fraca; (C2) diferença de atratividade fraca; (C3) diferença de atratividade moderada; (C4) diferença de atratividade forte; (C5) diferença de atratividade muito forte; e (C6) diferença de atratividade extrema. Este método diferencia-se de outros métodos multicritérios pois, considera somente julgamentos qualitativos sobre a diferença de atratividade entre dois elementos, a fim de gerar valores numéricos para opções em cada critério. Os pesos de critérios são atribuídos

por meio de uma comparação pareada da atratividade das alternativas, atribuindo o maior peso para a alternativa que apresenta maior atratividade.

Com base em procedimentos de comparação por pares, Saaty (1980) desenvolveu o “Analytic Hierarchy Process (AHP)”, método multicritério que possui em seus procedimentos uma etapa própria de ponderação de pesos. As ponderações de pesos de critérios acontecem por meio de uma matriz de comparação pareada dos critérios, onde esta matriz é convertida em vetor de pesos de critérios. O AHP envolve os seguintes passos: 1) definição do problema de decisão; 2) construção da estrutura hierárquica: estrutura em níveis hierárquicos, o problema de decisão, critérios, sub-criterios e alternativas; 3) definição das prioridades: elabora uma matriz de critérios e subcritérios comparando par a par cada elemento segundo a escala de preferência de Saaty, de 1 a 9; 4) cálculo do auto vetor: ordenação das prioridades; 5) normalização do auto vetor para cada critério; e 6) teste do índice de consistência e razão de consistência lógica.

Com base no AHP, Srdjevic e Srdjevic (2011) propuseram o método “Weights Estimation by Evolution Strategy Algorithm (WEESA)”. Este método propõe uma avaliação de otimização bi-criterial para estimar pesos na matriz de comparação do AHP. Um algoritmo é a parte principal do elemento de busca que, simultaneamente, preserva as estimativas dos vetores de prioridade. O modelo de codificação e outros elementos do mecanismo de busca são regulados para restrições relacionadas aos valores normalizados dos pesos.

Um método que aborda a relação entre critérios foi proposto por Ginevičius (2011), que desenvolveu o “Factor Relationship (FARE)”. No método FARE, o decisor atribui uma quantidade mínima de informações sobre as relações entre uma parte do conjunto de critérios, bem como os parâmetros de força e direção. A direção expressa a relação positiva ou negativa do critério, mostrando a influência ou a dependência com outros critérios do sistema; a força reflete a intensidade do impacto. Os pesos dos critérios são determinados quando se conhece o impacto total de cada critério em relação aos outros critérios do conjunto.

Uma técnica baseada em psicologia formal foi utilizada por Roger e Bruen (1998), que aplicaram o método “Hinkle’s” ou “resistance to change grid” proposto por Hinkle (1965) para ponderar critérios em modelos não compensatórios. Este método é apresentado nas seguintes etapas: 1) os critérios relevantes são listados; 2) dois conjuntos de critérios são criados: um desejável e outro indesejável; 3) cada critério é

comparado par a par em seus respectivos conjuntos; 4) o decisor é questionado sobre a possibilidade ou sua intenção de mudar algum critério para o lado indesejável, e qual deles ele não estaria propenso a mudar. Após estas comparações e a reavaliação dos julgamentos, determinam-se os pesos.

- **Estatísticos e Algébricos**

Chu et al. (1979) apresentaram o método “Weighted Least Square (WLS)” para elicitar pesos mediante um conceito de fácil entendimento. O modelo envolve conjuntos de equações algébricas lineares simultâneas. Uma metodologia similar foi proposta por Chou (2013). O autor desenvolveu o método “Weighted Linear Combination Ranking Technique (WLCRT)”, que utiliza combinações lineares de matrizes algébricas. As principais vantagens desta metodologia são a ponderação de pesos e a agregação de desempenho. Nestes métodos, a matriz de preferência é construída utilizando a escala de Likert, usada para ponderar os critérios a partir da matriz de relação de preferência, por meio de auto vetores. As ponderações generalizadas são usadas para agregar preferências de informações e promovem a ordenação das alternativas do processo de decisão.

Diaby et al. (2016) propuseram o modelo “ELICIT”. O método fundamenta-se em duas etapas: ordenação e peso dos critérios. Na primeira etapa, os critérios são ordenados com base na preferência dos decisores, pela análise de componente principal. Na segunda etapa, os pesos dos critérios são estimados mediante estatística descritiva usando análises de variáveis independentes e método de Monte Carlo. O método ELICIT foi utilizado em um estudo de caso hipotético, envolvendo a ponderação de pesos de cinco critérios, empregados para a escolha de equipamento cirúrgico. Os critérios foram classificados de 1 a 5, com base nas preferências dos decisores. O peso de cada critério foi definido segundo o desvio padrão e o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Este método é apropriado em situações na quais os decisores fazem classificações ordinais para obter pesos de critérios. Outros métodos que usa parâmetros estatísticos para a definição de pesos são o Integration of Correlations with Standard Deviations (CCSD) proposto por Wang e Lou (2010) e o Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) apresentado por Diakoulaki et al. (1995), que serão discutido na seção de métodos objetivos, os quais serão posteriormente analisados

O método “Weighted Power–Weakness Ratio (wPWR)”, proposto por Todeschini et al. (2015), é uma derivação do método “Power–Weakness ratio (PWR)”, desenvolvido originalmente por Ramanujacharyulu (1964). Este método apresenta uma abordagem multivariada e abrangente para resolver problemas de tomadas de decisão, que, capaz de quantificar simultaneamente as interações entre alternativas, oferecendo uma compreensão sobre a estrutura. Os fatores-chave do wPWR são: (1) sua forma multivariada; (2) a capacidade de analisar simultaneamente as forças e fraquezas dos critérios; e (3) a possibilidade de ponderar critérios de acordo com o conhecimento parcial sobre o problema de decisão.

2.6.2 MÉTODOS OBJETIVOS

Neste item, os métodos foram subdivididos em cluster de similaridades, dentre estes: (Estatístico e Algébrico) e Probabilístico (Figura 7).

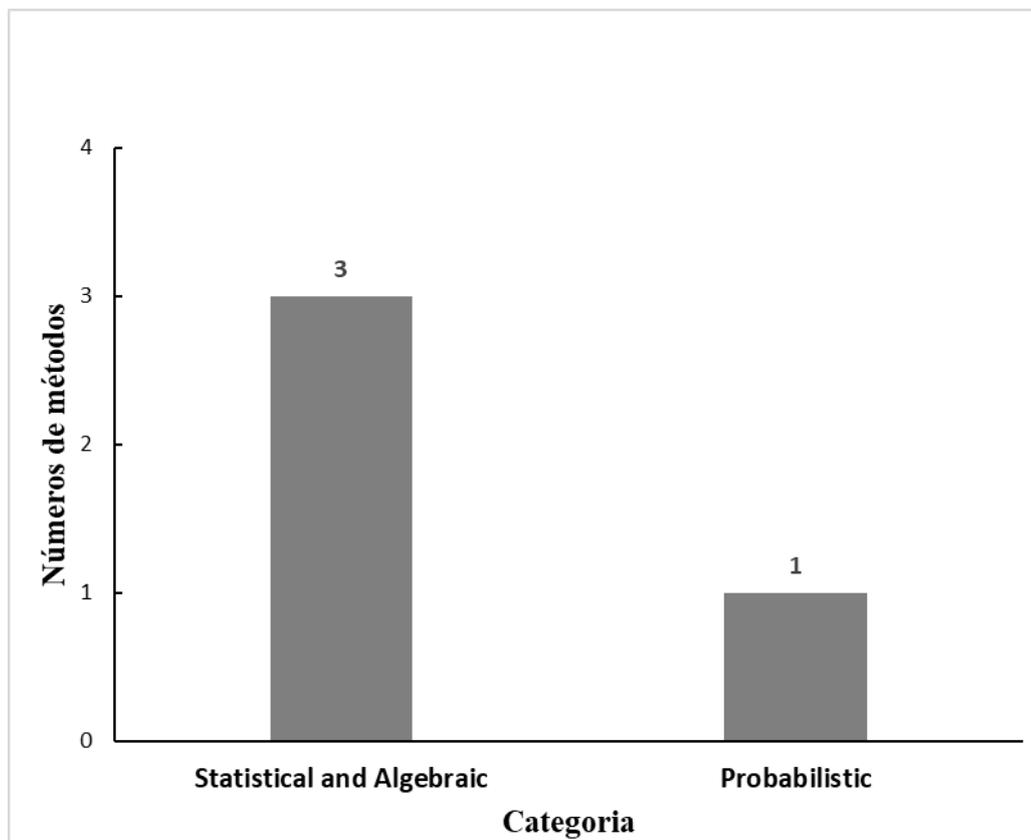


Figura 7 Métodos Objetivos subdivididos em cluster.
Fonte: Elaboração Própria

- **Estatísticos e Algébricos**

Parâmetros estatísticos (média, desvio padrão e análise de correlação) e algébricos são empregados nos métodos descritos neste item. Diakoulaki et al. (1995) propuseram o método CRITIC, que determina pesos de critérios pela análise na matriz de decisão para extrair todas as informações compreendidas nos critérios investigados. Os critérios são ponderados conforme a expressão:

$$W_j = \sigma_j \cdot \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad (1)$$

sendo W_j = os pesos dos critérios; σ_j = desvio padrão; r_{jk} = coeficiente de correlação (Pearson) entre os critérios j e k . De acordo com a expressão, quanto mais alto o valor de W_j , maior é a quantidade de informação transmitida pelo critério e mais elevada é a importância relativa do critério para o processo de tomada de decisão. Para efeito de aplicação, os pesos dos critérios são normalizados entre [0,1]. Este método foi aplicado em um estudo de caso na Grécia, onde foram selecionadas oito empresas farmacêuticas, que foram analisadas em relação aos critérios de rentabilidade, participação de mercado e produtividade.

Outro método que contempla princípios estatísticos e algébricos é abordado por Wang e Lou (2010), que desenvolveram a técnica CCSD. Assim como o CRITIC, esta técnica integra o coeficiente de correlação (CC) e desvio padrão (DV) para determinar pesos de critérios no âmbito do auxílio multicritério à decisão, além de realizar uma análise de sensibilidade dos pesos. O método CCSD pondera pesos integrando o desvio padrão para cada critério e seu coeficiente de correlação com a avaliação global das alternativas de decisão. O coeficiente de correlação é obtido pela remoção de um critério de cada vez do conjunto de critérios e considerando a correlação com a avaliação global das alternativas de decisão sem a inclusão dos critérios removidos. Caso o CC para os critérios removidos seja elevado, então, a remoção deste critério tem pouco influência na tomada de decisão, caso contrário, ao critério removido deve ser dado um peso importante. Foi aplicado um estudo de caso para avaliar os benefícios econômicos das atividades industriais na China. Foram avaliados 16 municípios em relação a cinco critérios de benefícios econômicos.

Deng et al. (2000) consideraram o método “Mean Weight (MW)”, que pondera pesos pela seguinte fórmula: $w=1/m$, onde m é o número de critérios. O MW parte do

pressuposto que todos os critérios são de igual importância. Este método aplica-se em situações caracterizadas pela falta de informações necessárias para determinar a importância relativa dos critérios.

- **Probabilístico**

Uma abordagem de probabilidades é apresentada por Shannon e Weaver (1949), os quais apresentaram o conceito de Entropia. Esta abordagem foi empregada, mais tarde, por Hwang e Yoo (1981) e Zeleny (1982) para determinar pesos de critérios. Este método aplica-se na teoria das informações, avaliando as incertezas e atribuindo probabilidade às situações de risco da informação. O “Entropy Method” é usado para quantificar a incerteza representada por uma distribuição de probabilidade discreta, p . O peso dos critérios considera a importância relativa de um critério em dada situação de decisão que está diretamente relacionada com a quantidade de informação deste, quanto maior a diversidade dos valores, maior a importância do critério na decisão final.

2.6.3 MÉTODOS HÍBRIDOS

A proposta de Ma et al. (1999) consiste em uma técnica que integra os métodos objetivos e subjetivos apresentados anteriormente. Esta técnica integra informações subjetivas fornecidas por decisores e informações objetivas a fim de determinar um modelo de programação para atribuir pesos. Este método considera matrizes de comparação por pares de critérios elaborada por um decisor; todos os critérios são objetivos. Na comparação por pares da matriz de decisão subjetiva, os pesos são determinados por considerações subjetivas do decisor. Na matriz de decisão objetiva, os pesos são determinados por informações objetivas. Assim, integra fatores objetivos e subjetivos para estabelecer um modelo a partir de duas matrizes, uma objetiva e outra subjetiva. Shirland et. (2003) apresentaram um modelo de programação de metas (Gpm) para gerar estimativas de peso por meio de comparação entre os critérios, usando tríades para avaliar múltiplos critérios. O uso de tríades reduz o

número aparente de comparações pelo decisor na avaliação dos itens no questionário. Existem dois benefícios da comparação da tríade: o primeiro benefício é a redução da fadiga dos tomadores de decisão na avaliação dos critérios. O segundo benefício é a redução do número de intransigências dos resultados do questionário.

Yang et al. (2017) propuseram um novo método para determinar pesos de critérios combinando programação linear (PL) com otimização de ponto de referência mini-max (LP-Rpm). O método consiste em três fases. Na primeira fase, os pesos preliminares são determinados como entradas iniciais para o terceiro estágio. Na segunda fase, um modelo de LP é aplicado para obter pesos favoritos para cada alternativa para maximizar sua utilidade. Na terceira fase, é utilizada a otimização do ponto de referência minimax para agregar os conjuntos de pesos das etapas anteriores, a fim de encontrar os melhores pesos de critérios. Para explicar a aplicação do método de peso de critérios, dois estudos de caso foram abordados: o primeiro estudo avalia o desempenho de 28 países da União Europeia em relação a nove critérios relacionados aos indicadores essenciais médicos. O segundo caso analisa o desempenho das universidades do Projeto chinês 985.

2.7 DISCUSSÃO

Este estudo buscou realizar uma revisão dos métodos de elicitação de pesos de critérios, que se aplicam originalmente a modelos de AMD. No entanto, suas aplicações se estendem a outras áreas da Pesquisa Operacional, Heurística, Inteligência Computacional, entre outras. A contribuição desta revisão fundamenta-se na agregação das publicações dispersas na literatura e apresenta uma visão geral das características dos métodos propostos.

Os autores Riabacke et al. (2012) e Zardari et al. (2015) abordaram revisões sobre os métodos de elicitação de pesos de critérios. Riabacke et al. (2012) fizeram uma análise dos métodos subjetivos de elicitação de pesos de critérios mais comuns. Já Zardari et al. (2015) caracterizaram os métodos de elicitação de pesos de critérios em subjetivos e objetivos, destacando alguns métodos como “Swing Weighting, Simos Weighting, Entropy Method, Critic Weighting”, entre outros.

As seguintes questões de pesquisa propostas neste trabalho, como a produção científica, sua periodicidade, os principais textos, periódicos, continentes e países que

mais contribuem nesta área do conhecimento, foram respondidas. Quanto à periodicidade de publicações nesta área, o ano de 2015 se destaca com o maior volume de publicações na história (Figura 2). Os principais textos que se destacaram por suas contribuições científicas são os de Stillwell et al. (1981) e Edwards e Barron (1994), que propuseram os métodos Rank sum, Rank recíprocal, Rank exponente, Smarts e Smarter (Tabela 2). Os periódicos mais procurados para a divulgação de estudos nesta área são *European Journal of Operational Research* (30%), *Omega* (9%), *International Journal of Information Technology and Decision Making* (6%), *Applied Soft Computing* (6%) e *Computers & Operations Research* (6%) (Tabela 1).

O continente americano, representado principalmente pelos Estados Unidos, com 15 métodos publicados, se destacou como o local que mais contribuiu nesta área. Os métodos de ponderação de pesos sofrem influências de duas grandes escolas de pensamentos AMD: Escola Americana e Escola Francesa.

A Escola Americana é caracterizada por apresentar métodos de critério único de síntese, que agrega os critérios em uma única função de síntese. Destacam-se, dentre outros, a Teoria da utilidade multiatributo, AHP, MACBETH, SMARTER. A Escola Francesa (Europeia) é caracterizada pelos métodos de sobreclassificação (outranking), baseados em uma relação de prevalência, em que uma alternativa pode apresentar um grau de dominância sobre a outra; destacam-se os métodos da família ELECTRE e PROMETHEE (Gomes et al., 2004).

No que tange aos métodos de ponderação de pesos, observa-se uma polarização para o continente americano, com 15 métodos propostos. Destes 16 métodos, a maioria sofre influência da Escola Americana, como “Fitradeoff”, “Roc, Swing”, entre outros. A Europa apresenta 13 métodos de ponderação de pesos, que predominam os pensamentos da Escola Francesa (Europeia), como os métodos Simos, Robust Simos, Tactic, entre outros. Os artigos oriundos da Ásia abordam nove métodos. Observa-se um grau de influência das Escolas Francesa e Americana, em que também predomina a aplicação da lógica *Fuzzy* nos procedimentos de ponderação de pesos tais como, “Fahp, Z-numbers, Wlcrt”, entre outros. Por fim, a Oceania apresenta três métodos, que não pertencem a nenhuma das duas escolas de pensamentos.

Entre os artigos analisados, observa-se que muitos apresentam similaridades metodológicas. Como exemplo, pode-se citar o uso de cartas para avaliar o julgamento dos decisores, cujo procedimento foi originalmente proposto por Simos

(1990a, b), e posteriormente empregado por Figueira e Roy (2002), Pictet e Bollinger (2008) e Siskos e Tsotsolas (2015), com variações na metodologia original. Muitos métodos apresentam propostas de associação com outras metodologias convencionais. O emprego da lógica *Fuzzy* é um exemplo clássico de junção de técnicas com o objetivo final da atribuição de pesos de critérios (Yeh et al., 1999; Torfi et al., 2010; Liu et al., 2012; Wang-Jie, 2014; Sotoudeh-Anvari e Sadi-Nezhad, 2015;; Rowley et al., 2015; Gitinavard et al., 2016). A teoria *Fuzzy* é projetada para quantificar as incertezas e imprecisões das informações. Deste modo, a abordagem *Fuzzy* é uma ferramenta robusta para lidar com as imprecisões dos problemas de decisão (Kahraman et al. 2006). Já alguns procedimentos utilizavam parâmetros estatísticos, algébricos ou ambos, conforme Diakoulaki et al. (1995); Wang e Lou (2010), Deng et al. (2000), Shannon e Weaver (1949), Diaby et al. (2016); Chu et al. (1979) e Chou (2013).

Alguns métodos usavam os procedimentos de substituição de pesos (no qual os decisores expressão a importância dos critérios por meio de um ranking ordinal), conforme abordados nos trabalhos de Stillwell et al. (1981); Solymosi et al. (1986); Alfares e Duffua (2008); Barron (1992); e Larsson et al. (2015). Os autores Srinivasan e Shocker. (1973), Vansnick (1986) aplicaram técnicas de programação linear em seus procedimentos de ponderações de pesos. Os procedimentos de Srdjevic e Srdjevic (2011) apresentam uma relação com o trabalho de Saaty (1980;1990). Os trabalhos de Keeney e Raiffa (1976) e Almeida et al. (2016) utilizaram procedimentos de “Trade-off”. Os trabalhos de Edwards e Barron (1994) utilizam os procedimentos de Von Winterfeldt e Edwards (1986) e Barron (1992).

Os métodos discutidos neste trabalho podem ser observados na Tabela 2. Nessa Tabela apresentam-se os principais métodos de elicitação de pesos em AMD e sua classificação nas seguintes categorias: subjetivos, objetivos, integrados, compensatório, não compensatório, único decisor e multidecisor. Quanto ao número de decisores exigidos na ponderação de pesos, a maior parte dos métodos foi desenvolvida para um único decisor. Apenas quatro métodos se aplicam a mais que um decisor. Quin et al. (2017) ressaltam que um único decisor não consegue lidar com todas as variáveis inerentes à tomada de decisão, uma vez que mais pontos de vista são expostos no curso da decisão. Propostas de pesquisas para métodos multidecisores precisam ser estimulados.

Outro ponto importante nos modelos AMD refere-se à relação compensatória

dos métodos. Estes podem ser classificados em compensatórios e não compensatórios (GUITOUNI E MARTEL, 1998). Nos métodos não compensatórios, os pesos não sofrem “Trade-offs”, ou seja, a mudança de peso de um critério não influencia nos outros pesos de critérios. Em muitos problemas de decisão, os modelos não compensatórios representam melhor a preferência do decisor (FISHBURN, 1976). Para uma definição mais clássica de estruturas não compensatórias, consultar Fishburn, (1976); Bouyssou e Vansnick (1986); Vansnick (1986). Nos modelos compensatórios, os pesos inter-relacionam-se no sentido que o menor peso em um critério reflete em um maior peso em outro critério, de forma que a variação do peso de um único critério promove a alteração dos pesos dos demais critérios. Isto significa que as informações extraídas da importância relativa dos pesos determinam trade-offs entre os critérios (ISHIZAKA E NEMERY, 2013). A utilização de modelos de elicitación de pesos, compensatórios ou não compensatórios, depende da característica do problema de decisão.

Dentre os 41 métodos encontrados, apenas quatro destes são objetivos. Estes métodos são caracterizados por não incorporarem a visão dos decisores, pois são pautados em informações aferidas com variáveis quantitativas. Apesar de pouco estudados, os métodos objetivos são mais interessantes quando dispomos de dados reais, evitando-se julgamentos empíricos. Por outro lado, os métodos subjetivos são mais explorados na literatura, com 34 propostas. Estes métodos são caracterizados por envolverem julgamentos dos decisores dentro de uma faixa de aceitação de valores, na qual busca-se extrair as preferências destes, e estas informações, muitas vezes incertas, são incorporadas na ponderação de pesos. Apesar do aumento dos números de pesquisas, o processo de elicitación de pesos de critérios subjetivos ainda são um desafio para o AMD devido à seguinte questão: como precisar a subjetividade? O esforço de pesquisadores em desvendar a fronteira do conhecimento sobre a subjetividade pode ser explicado pela sua aplicabilidade nos problemas reais, que, na maioria das vezes, apresentam exatamente estas características. A subjetividade pode ser entendida como a maneira que cada pessoa pensa e interpreta determinado assunto, construída mediante o conhecimento adquirido historicamente, no contexto cultural, econômico e social (LUHRMANN, 2006). Objetivar a subjetividade talvez seja um dos maiores desafios no AMD. Na tentativa de minimizar a subjetividade dos modelos AMD, explora-se a conexão com a Inteligência Artificial. A Inteligência Artificial é utilizada em inúmeros campos de pesquisas, principalmente focada em

modelos de previsão e sistemas tecnológicos que imitem o comportamento humano. Observa-se um incremento em pesquisas que envolve a integração destas duas ideias (DOUMPOS E GRIGOROUDIS, 2013). À medida que o conhecimento tecnológico avança, em que se faz necessário que algoritmos tomem decisões autônomas, a Inteligência Artificial, visa decifrar a subjetividade de forma mais objetiva.

2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou uma revisão sistematizada dos modelos de elicitação de pesos de critérios relacionados à modelagem multicritério. A partir da base de dados Scopus, foi extraído um conjunto de artigos iniciais, que serviram de base para uma análise mais detalhada do tema de interesse. Com base nesta amostra, a pesquisa foi expandida a outros documentos científicos (livros e teses), que abordam as metodologias de ponderação de pesos dos critérios. O trabalho apresentou uma síntese das funcionalidades dos métodos, classificando-os como subjetivos, objetivos, integrados, compensatórios, não compensatórios, único decisor e multidecisor. O estudo, realizado a partir de um recorte temporal entre 1949 e 2017, identificou 41 métodos de ponderação de pesos. A maior parte dos métodos analisados (34) são subjetivos, (4) são objetivos e apenas (3) híbrido e, quanto à relação compensatória (23), são compensatórios, (18) não compensatório, por fim, (38) único decisor, (3) Multidecisor. Finalmente, esta revisão de literatura tem a intenção de fornecer uma visão geral dos modelos de elicitação de pesos de critérios presentes na literatura. Isto com o intuito de servirem de base para pesquisadores que busquem avançar a fronteira do conhecimento nesta área.

Apesar de ser uma pesquisa abrangente, tem limitações, uma vez que não consegue englobar todos os assuntos a respeito do tema de pesquisa, logo não há certeza que todos os artigos relevantes foram inclusos. Esta revisão pode ser estendida a outras bases de dados.

2.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHN, B. S. Approximate weighting method for multiattribute decision problems with imprecise parameters. **Omega**, v. 72, p. 87-95, 2017.

ALFARES, H.K.; DUFFUAA, S.O. Assigning cardinal weights in multi-criteria decision making based on ordinal ranking. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 15, n. 5, p. 125-133, 2008.

ALFARES, H.K.; DUFFUAA, S.O. Simulation-Based Evaluation of Criteria Rank-Weighting Methods in Multi-Criteria Decision-Making. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 15, n. 1, p. 43-61, 2016.

ALMEIDA, A. T. et al. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. **European Journal of Operational Research**, v. 250, n. 1, p. 179–191, 2016.

ALMEIDA-FILHO, A. T.; DE ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. A FLEXIBLE elicitation procedure for additive model scale constants. **Annals of Operations Research**, v. 259, n. 1-2, p. 65-83, 2017.

BANA E COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. MACBETH—An interactive path towards the construction of cardinal value functions. **International transactions in operational Research**, v. 1, n. 4, p. 489-500, 1994.

BARRON, F. H. Selecting a best multiattribute alternative with partial information about attribute weights. **Acta Psychologica**, v. 80, n. 1, p. 91-103, 1992.

BARRON, F.H; BARRETT, B.E. Decision quality using ranked attribute weights. **Management Science**, v. 42, n. 11, p. 1515-1523, 1996.

BEN AMOR, S.; ZARAS, K.; & AGUAYO, E. A. The value of additional information in multicriteria decision making choice problems with information imperfections. **Annals of Operations Research**, v. 253, n. 1, p. 61-76, 2017.

BOUYSSOU, D.; VANSNICK, J.C. Noncompensatory and generalized noncompensatory preference structures. **Theory and decision**, v. 21, n. 3, p. 251-266, 1986.

CARRIZOSA, E. et al. Multi-criteria analysis with partial information about the weighting coefficients. **European Journal of Operational Research**, v. 81, n. 2, p. 291-301, 1995.

CHOO, E.U.; SCHONER, B.; WEDLEY, W.C. Interpretation of criteria weights in multicriteria decision making. **Computers & Industrial Engineering**, v. 37, n. 3, p.

527-541, 1999.

CHOU, J.R. A weighted linear combination ranking technique for multi-criteria decision analysis. **South African Journal of Economic and Management Sciences**, v. 16, n. 5, p. 28-41, 2013.

CHU, A. T. W.; KALABA, R. E.; SPINGARN, K. A comparison of two methods for determining the weights of belonging to *Fuzzy* sets. **Journal of Optimization Theory and Applications**, v. 27, n. 4, p. 531-538, 1979.

DANIELSON, M.; EKENBERG, L. A robustness study of state-of-the-art surrogate weights for MCDM. **Group Decision and Negotiation** v. 26, n. 4, p. 677-691, 2017.

DENG, H.; YEH, C.H; WILLIS, R.J. Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. **Computers & Operations Research**, v. 27, n. 10, p. 963-973, 2000.

DIABY, V.; SANOGO, V.; MOUSSA, K.R. ELICIT: An alternative imprecise weight elicitation technique for use in multi-criteria decision analysis for healthcare. **Expert review of pharmacoeconomics & outcomes research**, v. 16, n. 1, p. 141-147, 2016.

DIAKOULAKI, D.; MAVROTAS, G.; PAPAYANNAKIS, L. Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. **Computers & Operations Research**, v. 22, n. 7, p. 763-770, 1995.

DOUMPOS, M.; GRIGOROUDIS, E. **Multicriteria decision aid and artificial intelligence: links, theory and applications**. New York: John Wiley & Sons, 2013.

EDWARDS, W. How to use multiattribute utility measurement for social decisionmaking. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, v. 7, n. 5, p. 326-340, 1977.

EDWARDS, W.; BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. **Organizational behavior and human decision processes**, v. 60, n. 3, p. 306-325, 1994.

FIGUEIRA, J.; ROY, B. Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. **European Journal of Operational**

Research, v. 139, n. 2, p. 317-326, 2002.

FISHBURN, P.C. Noncompensatory preferences. **Synthese**, v. 33, n. 1, p. 393-403, 1976.

FREITAS, J.G.; COSTA, H.G. Impacts of Lean Six Sigma over organizational sustainability: A systematic literature review on Scopus base. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 8, n. 1, p. 89-108, 2017.

GINEVIČIUS, R. A new determining method for the criteria weights in multicriteria evaluation. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 10, n. 6, p. 1067-1095, 2011.

GITINAVARD, H.; MOUSAVI, S. M.; VAHDANI, B. A new multi-criteria weighting and ranking model for group decision-making analysis based on interval-valued hesitant *Fuzzy* sets to selection problems. **Neural Computing and Applications**, v. 27, n. 6, p. 1593-1605, 2016.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisão de decisões em cenários complexos**. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2004.

GUI TOUNI, A; MARTEL, J.M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. **European Journal of Operational Research**, v. 109, n. 2, p. 501-521, 1998.

HILLIER, F. S; LIEBERMAN, G. J. *Introdução a Pesquisa Operacional*. 8. ed. São Paulo: McGraw Hill, 2006.

HINKLE, D.N. **THE CHANGE OF PERSONAL CONSTRUCTS FROM THE VIEWPOINT OF A THEORY OF CONSTRUCT IMPLICATIONS**. 1965. 117 f. Ph.D. Dissertation, Ohio State University, Michigan, 1965.

HWANG, C.L; YOON, K. **Multiple attribute decision making: Methods and Applications**. Berlin: Springer, 1981.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. **Multi-criteria decision analysis: methods and software**. New York: John Wiley & Sons, 2013.

JESUS, I.R.D. & COSTA, H.G. Interfaces between production engineering and the

public affairs: evidences from bibliometric analysis. **Scientometrics**, v. 105, n. 2, p. 1183-1193, 2015.

KAHRAMAN, C.; GÜLBAY, M.; KABAK, Ö. Applications of *Fuzzy* sets in industrial engineering: a topical classification. Berlin: Springer, 2006.

KEENEY, R.L., RAIFFA, H. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs. New York: Wiley, 1976.

KÖKSALAN, M.; WALLENIOUS, J.; & ZIONTS, S. **Multiple criteria decision making. From early history to the 21st century**. Singapura: World Scientific, 2011.

LARSSON, A.; RIABACKE, M.; DANIELSON, M.; EKENBERG, L. Cardinal and rank ordering of criteria—addressing prescription within weight elicitation. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 14, n. 6, p. 1299-1330, 2015.

LIU, F.; ZHANG, W.G.; FU, J.H. A new method of obtaining the priority weights from an interval *Fuzzy* preference relation. **Information Sciences**, v. 185, n. 1, p. 32-42, 2012.

LUHRMANN, T.M. Subjectivity. **Anthropological Theory**, v. 6, n. 3, p. 345-361, 2006.

MA, J.; FAN, Z.P.; HUANG, L.H. A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights. **European Journal of Operational Research**, v. 112, n. 2, p. 397-404, 1999.

PARAVIDINO, W.L.F. et al. Inclusion of sustainability criteria in decision matrix change the alternative of goods in a public institution. **InterSciencePlace**, v.12, n.2, p. 148-195, 2017.

PEREIRA, V.; COSTA, H.G. A literature review on lot size with quantity discounts: 1995-2013. **Journal of Modelling in Management**, v. 10, n. 3, p. 341-359, 2015.

PICTET, J.; BOLLINGER, D. Extended use of the cards procedure as a simple elicitation technique for MAVT. Application to public procurement in Switzerland. **European Journal of Operational Research**, v. 185, n. 3, p. 1300-1307, 2008.

QIN, Q.; LIANG, F.; LI, L., CHEN, Y.W.;YU, G.F. A TODIM-based multi-criteria group decision making with triangular intuitionistic *Fuzzy* numbers. **Applied Soft Computing**, 55, 93-107, 2017.

RAMANUJACHARYULU, C. Analysis of preferential experiments. **Psychometrika**, v. 29, n. 3, p. 257-261, 1964.

RIABACKE, M.; DANIELSON, M.; EKENBERG, L. State-of-the-art prescriptive criteria weight elicitation. **Advances in Decision Sciences**, v. 2012, p.1-24, 2012.

ROGERS, M.; BRUEN, M. A new system for weighting environmental criteria for use within ELECTRE III. **European Journal of Operational Research**, v. 107, n. 3, p. 552-563, 1998.

ROWLEY, H.V.; GESCHKE, A.; LENZEN, M. A practical approach for estimating weights of interacting criteria from profile sets. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 272, p. 70-88, 2015.

SAATY, T.L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGrawHill, 1980.

SEURING, S.; MÜLLER, M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. **Journal of cleaner production**, v. 16, n. 15, p. 1699-1710, 2008.

SHANNON, C.E.; Weaver, W. **The mathematical theory of communication**. Illinois: University of Illinois Press, 1949.

SIMOS, J. L'évaluation environnementale: Un processus cognitif négociée. 1990. 221 f. These de doctorat, Universitaires Romande DGF-EPFL, Lausanne, 1990a

SIMOS, J. **Evaluer l'impact sur l'environnement: une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation**. 1990. 261 f. These de doctorat, Presses Polytechniques Et Universitaires Romande, Lausanne, 1990b.

SISKOS, E. ; TSOTSOLAS, N. Elicitation of criteria importance weights through the Simos method: A robustness concern. **European Journal of Operational Research**,

v. 246, n. 2, p. 543-553, 2015.

SOLYMOSI, T.; DOMBI, J. A method for determining the weights of criteria: the centralized weights. **European Journal of Operational Research**, v. 26, n. 1, p. 35-41, 1986.

SOTOUDEH-ANVARI, A.; SADI-NEZHAD, S. A new approach based on the level of reliability of information to determine the relative weights of criteria in *Fuzzy TOPSIS*. **International Journal of Applied Decision Sciences**, v. 8, n. 2, p. 164-178, 2015.

SRDJEVIC, B.; SRDJEVIC, Z. Bi-criteria evolution strategy in estimating weights from the AHP ratio-scale matrices. **Applied Mathematics and Computation**, v. 218, n. 4, p. 1254-1266, 2011.

SRINIVASAN, V.; SHOCKER, A. D. Linear programming techniques for multidimensional analysis of preferences. **Psychometrika**, v. 38, n. 3, p. 337-369, 1973.

STILLWELL, W.G.; SEAVER, D.A.; EDWARDS, W. A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. **Organizational Behavior and Human Performance**, v. 28, n. 1, p. 62-77, 1981.

TODESCHINI, R.; GRISONI, F.; NEMBRI, S. Weighted power–weakness ratio for multi-criteria decision making. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 146, p. 329-336, 2015.

TORFI, F.; FARAHANI, R. Z.; REZAPOUR, S. *Fuzzy AHP* to determine the relative weights of evaluation criteria and *Fuzzy TOPSIS* to rank the alternatives. **Applied Soft Computing**, v. 10, n. 2, p. 520-528, 2010.

TZENG, G.H.; CHEN, T.Y.; WANG, J.C. A weight-assessing method with habitual domains. **European Journal of Operational Research**, v. 110, n. 2, p. 342-367, 1998.

VAN ITTERSUM, K.; PENNING, J.M.; WANSINK, B.; VAN TRIJP, H.C. The validity of attribute-importance measurement: A review. **Journal of Business Research**, v. 60, n. 11, p. 1177-1190, 2007.

VANSNICK, J.C. On the problem of weights in multiple criteria decision making (the

noncompensatory approach). **European Journal of Operational Research**, v. 24, n. 2, p. 288-294, 1986.

VON WINTERFELDT, D.; EDWARDS, W. *Decision Analysis and Behavioural Research*. New York: Cambridge University Press, 1986.

WANG, Y.J. A criteria weighting approach by combining *Fuzzy* quality function deployment with relative preference relation. **Applied Soft Computing**, v. 14, p. 419-430, 2014.

WANG, Y.M.; LUO, Y. Integration of correlations with standard deviations for determining attribute weights in multiple attribute decision making. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 51, n. 1, p. 1-12, 2010.

WEBER, M.; BORCHERDING, K. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. **European Journal of Operational Research**, v. 67, n. 1, p. 1-12, 1993.

YEH, C.H.; WILLIS, R.J.; DENG, H.; & PAN, H. Task oriented weighting in multi-criteria analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 119, n. 1, p. 130-146, 1999.

ZADEH, L.A. A note on Z-numbers. **Information Sciences**, v. 181, n. 14, p. 2923-2932, 2011.

ZARDARI, N.H. et al. **Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management**. New York: Springer, 2015.

ZELENY, M. **Multiple Criteria Decision Making**. New York: McGraw-Hill, 1982

3 SELEÇÃO E PONDERAÇÃO DE PESOS DE CRITÉRIOS UMA AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO: USO DO MÉTODO LAWSHE

3.1 RESUMO

O artigo analisa o método de Lawshe para seleção e elicitación de pesos de critérios em problemas multicritérios com múltiplos decisores. O método incorpora conceitos subjetivos sobre as preferências dos decisores. A técnica é fundamentada na aplicação de questionários aos especialistas que avaliam os critérios do questionário em níveis de importância. A metodologia de Lawshe foi aplicada em um estudo de caso sobre alocação de equipes de manutenção preventiva na indústria petrolífera. A eficácia da metodologia foi contrastada com os métodos de “Rank-Order Centroid (ROC)” e “Linear-Slope Variable (VSL)”, e as diferenças encontradas na elicitación de pesos discutidas com base em análises estocásticas (correlação e teste de t). Conclui-se que o Lawshe não exige a ordenação dos critérios por nível de importância, os pesos de Lawshe representaram de forma fidedigna a importância das preferências dos especialistas em cada critério e considero que dois ou mais critérios podem assumir pesos iguais.

Palavras-chave: Múltiplos decisores. Elicitação de pesos. Lawshe.

3.2 INTRODUÇÃO

O apoio multicritério à decisão (AMD) é um campo da Pesquisa Operacional, que avalia um conjunto de alternativas em relação a múltiplos critérios (muitas vezes conflitantes); selecionando, agrupando ou ordenando alternativas (ISHIZAKA E NEMERY, 2013; ISHIZAKA E SIRAJ, 2018; CORRENTE et al., 2017). O AMD é útil para resolução de problemas de decisão caracterizados como complexos, incertos ou com mais de um objetivo.

Os problemas de decisão podem envolver um único decisor ou múltiplos decisores. Segundo Grošelj et al. (2015), os múltiplos decisores contribuem com experiências, conhecimentos e perspectivas, lidando melhor com os problemas complexos do que com um único decisor. Deste modo, um único especialista possui racionalidade limitada para tomar decisões complexas e incertas, face à dificuldade de lidar com todas as variáveis inerentes aos problemas de decisão. Portanto, para tomar decisões mais abrangentes e concisas, a melhor opção seria o uso de múltiplos decisores (QIN et al., 2017).

Na tomada de decisão em grupo (Group decision making), os múltiplos agentes (decisores, especialistas) expressam suas preferências em relação aos elementos do processo decisório (BELTON e PICTET, 1997; YAN et al., 2017). Um aspecto importante no processo de decisão, que engloba múltiplos decisores é a etapa de elicitação de pesos de critérios, que tem como problema a agregação de diferentes preferências individuais em única função de valor ou peso final (XIA e CHEN, 2015).

A elicitação de pesos pode influenciar o resultado final do processo decisório (WANG e LUO, 2010; ALMEIDA et al., 2016; PARAVIDINO et al., 2017). Há na literatura inúmeros modelos para a elicitação de pesos (YANG et al., 2017), sendo a maioria dos métodos desenvolvida para um único decisor. O processo de atribuição de pesos em problemas de AMD é muitas vezes problemático devido à subjetividade inerente a essa tarefa (HATEFI e TORABI, 2010).

Outro aspecto importante nos modelos multicritérios é a seleção dos critérios.

Uma grande quantidade de critérios aumenta a complexidade dos problemas (CORRENTE et al., 2017). Assim, uma escolha otimizada de critérios é fundamental para uma avaliação correta dos problemas de decisão. Aplicações do método de Lawshe na seleção de critérios foram utilizadas nos trabalhos de Badie et al. (2015) e Moridi et al. (2017). No entanto, essa metodologia não havia sido testada para duas finalidades: seleção e ponderação de pesos de critérios simultaneamente, que consistem nos aspectos inovadores desse estudo.

Neste contexto, propõe-se avaliar a eficácia do método de Lawshe para a seleção e eliciação de pesos de critérios em problemas com múltiplos decisores. O método de Lawshe é fundamentado na aplicação de questionários a grupos de especialistas que avaliam cada critério do questionário em níveis de importância. A metodologia tem como objetivo quantificar e validar critérios, demonstrando a importância dos critérios nos aspectos de relevância, clareza e qualidade técnica (WILSON et al., 2012). O método Lawshe considera em conjunto as preferências individuais dos especialistas, tornando consensual a opinião subjetiva de cada decisor, de modo, a reduzir a imprecisão na ponderação de pesos.

O trabalho aborda uma síntese da funcionalidade do método em um estudo de caso, aplicado ao setor petrolífero. Para validar a metodologia deste estudo os resultados são comparados com os métodos de eliciação de pesos, Rank-order-centroid (ROC) e Variable-slope linear (VSL). O artigo fornece uma metodologia que leva em consideração as preferências de múltiplos decisores.

Este artigo está organizado, inicialmente, apresentando os métodos de eliciação de pesos e suas classificações. Em sequência, aborda-se uma descrição do método de Lawshe. Em seguida, na seção 4, apresentam-se a seleção de critérios e pesos pelo método de Lawshe. Na seção 5, apresenta-se um estudo de caso aplicado ao setor petrolífero. Na seção 6, compara-se o método de Lawshe com outros procedimentos de ponderação. As conclusões são apresentadas na seção 7.

3.3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.3.1 ELICITAÇÃO DE PESOS

O entendimento das preferências dos decisores na elicitação de pesos de critérios é uma tarefa fundamental, uma vez que, influenciam os resultados finais (FIGUEIRA e ROY, 2002; WANG e LUO, 2010; ALMEIDA et al., 2016;). Deste modo, existem inúmeros métodos de elicitação de pesos na literatura, sendo que muitos destes, apresentam similaridades em seus procedimentos, como por exemplo, o uso de cartas para avaliar as preferências dos decisores, tais como: Simos (Simos, 1990a, b), Revised Simos (Figueira e Roy, 2002) e Robust Simos (Siskos e Tsotsolas, 2015). Determinados métodos usam a lógica *Fuzzy* em seus procedimentos, como nos casos de “Task oriented” (Yeh et al., 1999), Cifpr (Liu et al., 2012), Fqfd (Wang, 2014). Outros métodos usam procedimentos de ordenação de pesos, tais como: “Roc (Barron, 1992); Croc method (Larsson et al., 2015); Rank Sum, Rank recíprocal e Rank expoente (Stillwell et al., 1981) e VSL (Alfares e Duffua, 2008)”. O trabalho de Zardari et al. (2015) abordam uma revisão sobre esta temática.

Os métodos estão classificados em duas linhas de pensamentos (Figura 8). A primeira linha refere-se aos métodos algébrico ou estatístico, holístico ou decomposto, direto ou indireto, compensatório ou não compensatório. Os métodos algébricos por meio de sistemas de equações calculam n pesos de um conjunto de $n-1$ julgamentos; nos procedimentos estatísticos os pesos são obtidos por média aritmética, desvio padrão, análise de regressão, estimativa por máxima verossimilhança, entre outros. Nos métodos holísticos os decisores avaliam os critérios por classificação ou ordenação, já no método de decomposição, cada critério ou par de critérios é verificado separadamente. Nos procedimentos diretos o decisor compara os intervalos de dois critérios de forma proporcional; nos métodos indiretos há inferência de pesos mediante julgamentos de preferências. Quanto aos métodos compensatórios, eles consideram *trade-offs* entre os pesos de critérios; ao passo que nos procedimentos não compensatórios não há influência na variação de peso de um critério nos demais critérios (WEBER e BORCHERDING 1993; CHOU 2013).

Na segunda linha de pensamento, Tzeng et al. (1998) e Ma et al. (1999) classificam esses métodos em dois grupos: métodos subjetivos e objetivos. Nos procedimentos subjetivos os pesos de critério consideram as imprecisões e incertezas dos julgamentos dos decisores. Na perspectiva objetiva, os julgamentos são feitos mediante modelos matemáticos, inibindo as imprecisões das preferências dos decisores. Wang e Luo (2010) inclui a classificação integrada, que constitui informações subjetivas dos decisores e informações objetivas determinadas matematicamente.

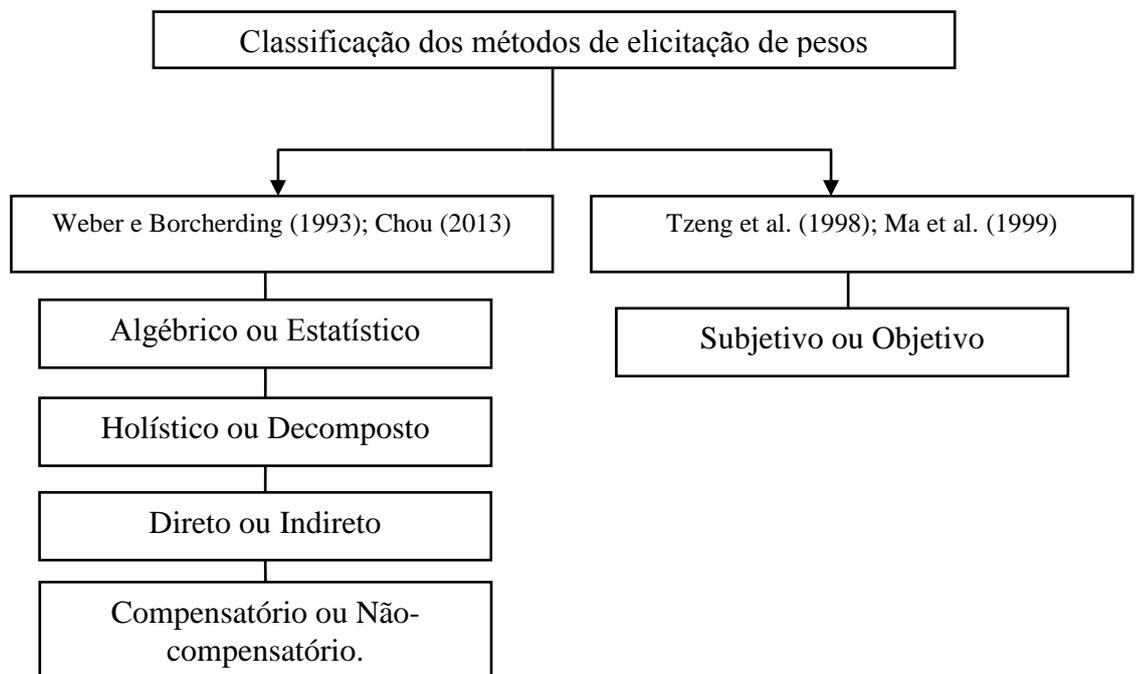


Figura 8 – Métodos de elicitação de pesos e suas classificações. Fonte: Elaboração Própria

3.3.2 MÉTODO DE LAWSHE

O procedimento de Lawshe é fundamentado na aplicação de questionários a especialistas que avaliam cada critério do questionário em uma das três categorias: a) essencial; b) importante, mas não essencial; e c) não importante (LAWSHE, 1975). A princípio, as respostas são agrupadas como essenciais ou não essenciais. Conforme Ayre e Scally (2014) a validade de conteúdo pode ser alcançada mediante

um conjunto de especialistas que julgam a preferência de cada critério individualmente, de acordo com o tema abordado. O método de Lawshe ou “Content Validity Ratio (CVR)” foi revisado por Wilson et al. (2012) que verificou incoerência na tabela de $CVR_{\text{crítico}}$ e propôs uma nova tabela a partir das distribuições de probabilidades de aproximação normal à binomial. Ayre e Scally (2014) posteriormente, sugerem novo método para cálculo inicial de valores críticos, e tabelas de probabilidades binomiais exatas.

Segundo Wilson et al. (2012), a metodologia proposta por Lawshe é um procedimento robusto, de fácil utilização e apresenta modelos matemáticos simples. O procedimento, calcula o CVR, para cada critério do questionário, conforme fórmula a seguir:

$$CVR = \frac{ne - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad (2)$$

Onde, CVR: Content Validity Ratio; ne: número de especialistas que consideram o critério como “essencial”; N: número total de especialistas que participaram da pesquisa. Os valores CVR variam entre -1 e +1, em que -1 caracteriza discordância perfeita e +1 caracteriza concordância perfeita (AYRE E SCALLY, 2014). Quando mais de 50% dos respondentes percebem o critério como “essencial” o CVR é positivo. Por outro lado, quando o CVR é negativo, expressa que menos de 50% dos especialistas informaram o critério como essencial. No caso do CVR ser igual a zero, isso indica, que a metade dos especialistas responderam o critério como “essencial” e a outra metade não (LAWSHE, 1975). Para a verificação dos itens que serão mantidos na composição final, Lawshe menciona que valores CVR, abaixo do limiar crítico ($CVR_{\text{crítico}}$) podem ser excluídos da composição final. Para o cálculo do $CVR_{\text{crítico}}$ considera-se a aproximação da distribuição binomial (distribuição discreta) pela distribuição normal (distribuição contínua). Esta abordagem, considera os parâmetros como média, variância e desvio padrão

$$\mu = n.p \quad (3)$$

$$\sigma^2 = n.p.(1 - p) \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{n.p.(1 - p)} \quad (5)$$

Onde, n : representa o número de respondentes; p : a probabilidade de assinalar o item como essencial ($p = 1/2$). Os níveis de 1% e 5% de significância ou probabilidade de erro, são os mais utilizados. Assume-se o nível de significância de 5% na distribuição normal padrão, determinando o valor de z-score = 1,96. Considerando-se o $n_{\text{crítico}} = \mu + z \cdot \sigma$, que corresponde ao mínimo de especialistas que precisa considerar o item como essencial para que ele seja válido. O cálculo do $CVR_{\text{crítico}}$ é obtido pela seguinte fórmula:

$$CVR_{\text{crítico}} = \frac{n_{\text{crítico}} - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad (6)$$

3.3.3 LAWSHE E MULTICRITÉRIO

A utilização da técnica de validação do conteúdo com auxílio multicritério, pode ser vista em Badie et al., (2015) que utilizou o CVR para determina os fatores críticos de sucesso para sistemas de armazenamentos em nuvens, em seguida utilizou o “Fuzzy Analytic Hierarchical Process (FAHP)” para avaliar o consenso dos especialistas sobre os fatores críticos de sucesso. Moridi et al. (2017) analisou as tecnologias de filtragem de poluentes atmosféricos para indústria petroquímica em que utilizou o CVR para limitar os critérios e alternativas a serem analisados por apoio multicritério à decisão. Huang et al. (2017) aplicaram a metodologia CVR para identificarem os fatores críticos que levam a fraudes em demonstrativo financeiro e utilizou o método AHP para determina pesos para classificar a importância relativa destes fatores.

3.4 PROPOSTA METODOLÓGICA

3.4.1 SELEÇÃO DE CRITÉRIOS E PESOS

Adotou-se a metodologia de Lawshe (1975), revisada por Wilson et al. (2012) para avaliar simultaneamente a seleção e elicitação de pesos de critérios. O método

reflete a importância da preferência dos especialistas em cada critério, quanto ao seu nível de importância como forma de captar a subjetividade. Assume-se que o conjunto dos agentes de decisão $D = \{d \mid d \text{ é o número de decisores tal que } d > 5\}$.

Os procedimentos do método de Lawshe seguem cinco passos (Figura 9). No primeiro, levanta-se um conjunto de critérios iniciais por meio de pesquisa na literatura e/ou especialistas. Em sequência, avalia-se as preferências dos decisores, aplicando questionários aos decisores $D = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ que jugam cada critério do conjunto $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$, em uma das três categorias: a) essencial; b) importante, mas não essencial; c) não importante. No terceiro passo, para cada critério, a quantidade de decisores que o consideram “essencial” é computado para o cálculo do CVR pela equação (1). No quarto passo, o CVR calculado de cada critério é comparado com seu respectivo limiar de corte $CVR_{\text{crítico}}$, com uma probabilidade de 5% de significância pela equação (4). Por fim, no quinto passo, os critério e pesos selecionados são o que obtiveram valores CVR acima dos respectivos $CVR_{\text{crítico}}$.

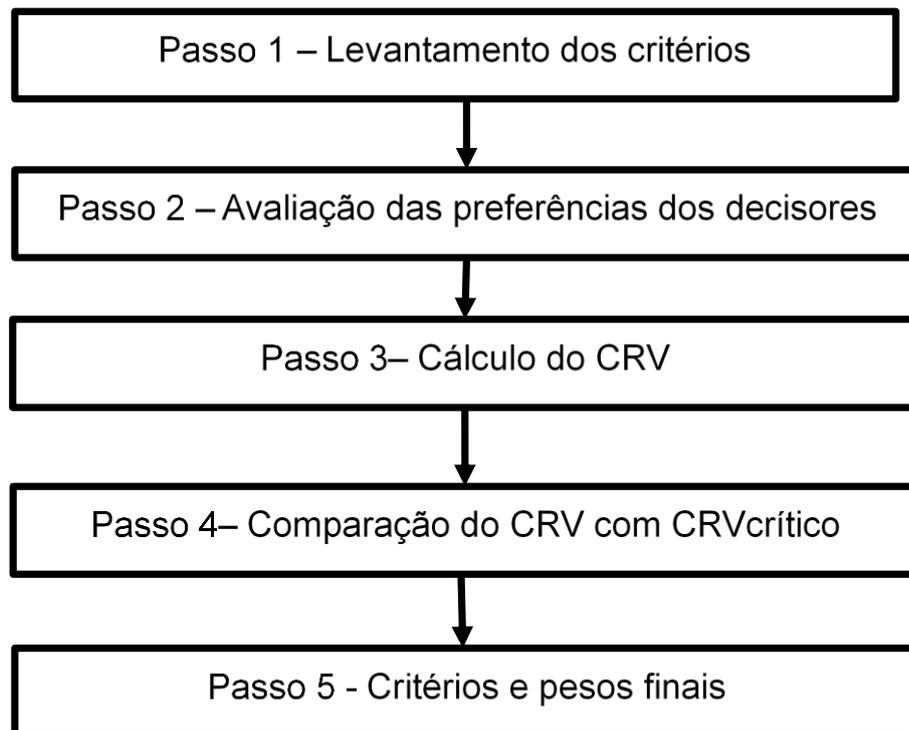


Figura 9-Procedimentos para aplicação do método de Lawshe.
Fonte: Elaboração Própria

3.4.2 APLICAÇÃO EM ESTUDO DE CASO

Para avaliar a funcionalidade desta metodologia foi conduzido um estudo de casos, aplicado à área petrolífera, descrito em Neto et al. (2015).

O estudo de caso foi aplicado a uma empresa petrolífera no Brasil, em sua principal base localizada no Norte Fluminense, o cenário de estudo foi a região da Bacia de Campos. O trabalho tem como objetivo a seleção de critérios para priorização da manutenção preventiva de telecomunicações em plataformas de petróleo.

3.4.2.2 SELEÇÃO E PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS

O conjunto de critérios, levantados na literatura foram 25 e junto aos especialistas 8 critérios, nos quais foram agrupados em uma única lista com um total de 33 critérios. Assim, foram aplicados questionários à especialistas de sistemas de telecomunicações offshore, que avaliaram cada critério em uma das três categorias: 1) essencial; 2) importante, mas não essencial e 3) não importante. Em seguida, para cada critério considerado como “essencial” foi cálculo o CRV pela equação (1). Os critérios selecionados estão apresentados na Tabela 3, onde se obtém a relação de importância ou não de cada critério. A decisão de manter o critério decorre quando o valor do CVR calculado é superior ao valor do CVR crítico equação (4).

Tabela 3 – Critérios e pesos selecionados pelo método Lawshe.

Cód.	Critério	ne	N	ne _{critico}	CVR _{calc}	CVR _{crit}	Decisão	Pesos
C1	Ausência de Link de Contingência	14	23	16,2	0,217	0,409	Excluir	-
C2	Circuito Fechado de TV	7	22	15,6	-0,364	0,418	Excluir	-
C3	Custos	6	20	14,4	-0,400	0,438	Excluir	-
C4	Caixa de Passagem, Conexão, Distribuição	9	23	16,2	-0,217	0,409	Excluir	-
C5	Dificuldades Logísticas (vão, vaga, etc)	10	23	16,2	-0,130	0,409	Excluir	-
C6	Enlace rádio	21	22	15,6	0,909	0,418	Manter	0,909
C7	Equipamentos GMDSS	18	22	15,6	0,636	0,418	Manter	0,636
C8	Facilidade de manutenção	2	22	15,6	-0,818	0,418	Excluir	-
C9	Facilidade de Operação	1	19	13,8	-0,895	0,450	Excluir	-
C10	Histórico de falhas/Disponibilidade	16	22	15,6	0,455	0,418	Manter	0,455
C11	Impacto ao Negócio da Empresa	19	23	16,2	0,652	0,409	Manter	0,652
C12	Importância Estratégica	20	23	16,2	0,739	0,409	Manter	0,739
C13	Internet Cultural	1	23	16,2	-0,913	0,409	Excluir	-
C14	Lazer	1	23	16,2	-0,913	0,409	Excluir	-
C15	Link Satélite com Antena Estabilizada	19	23	16,2	0,652	0,409	Manter	0,652
C16	Proteção elétrica	9	23	16,2	-0,217	0,409	Excluir	-
C17	Quantidade de clientes a bordo	4	23	16,2	-0,652	0,409	Excluir	-
C18	Rádio Farol	10	22	15,6	-0,091	0,418	Excluir	-
C19	Radio operacional	9	22	15,6	-0,182	0,418	Excluir	-
C20	Repetidor Ativo	18	21	15	0,714	0,428	Manter	0,714
C21	Rede SDH-NG / Backbone óptico	18	22	15,6	0,636	0,418	Manter	0,636
C22	Segurança (Interna)	20	21	15	0,905	0,428	Manter	0,905
C23	Serviços de dados- Rede Integrada Corporativa	15	23	16,2	0,304	0,409	Excluir	-
C24	Serviços de voz – Rede de Ramais internos	15	23	16,2	0,304	0,409	Excluir	-
C25	Sistema Intercom	23	23	16,2	1,000	0,409	Manter	1,000
C26	Sistema de Energia	22	23	16,2	0,913	0,409	Manter	0,913
C27	Sistema de Telessupervisão	6	23	16,2	-0,478	0,409	Excluir	-
C28	Sistema Trunking	9	22	15,6	-0,182	0,418	Excluir	-
C29	Substituir Equipamentos por tempo de uso	5	23	16,2	-0,565	0,409	Excluir	-
C30	Suporte à Automação	7	23	16,2	-0,391	0,409	Excluir	-
C31	TV Online/ Cabo	1	21	15	-0,905	0,428	Excluir	-
C32	Radio VHF aeronáutico	19	23	16,2	0,652	0,409	Manter	0,652
C33	Videocon	4	23	16,2	-0,652	0,409	Excluir	-

Fonte: adaptado de Neto et al. (2015).

Legenda: GMDSS = Global Maritime Distress and Safety System; SDH-NG = Synchronous Digital Hierarchy -Next Generation; VHF = Very high frequency.

3.5 COMPARATIVOS COM OUTROS MÉTODOS

O método de Lawshe foi comparado a outros métodos de ponderação de pesos com intuito de oferecer alguns resultados numéricos. O método foi comparado com Rank Order Centroid (BARRON, 1992; BARRON e BARRETT, 1996) e Variable-Slope Linear (ALFARES e DUFFUAA 2008). A seguir uma breve descrição destes métodos:

- **ROC- Rank Order Centroid**

O ROC é um método de informação parcial, que usualmente requer a ordenação dos critérios de acordo com sua importância relativa. O ROC foi proposto por Barron (1992) e formalmente apresentado em Barron e Barrett (1996). Este método reduz o erro máximo de cada peso de critério, identificando o centroide de todos os pesos possíveis. Os pesos (W) são determinados para cada critério, tal que:

$w_1 \geq w_2 \geq w_3 \dots w_n$, onde $\sum_{j=1}^n w_j = 1, j = 1, 2, \dots, n$. A partir da equação (6) calcula-se os pesos

dos critérios ordenados, em que n é o número de critérios e $j=1, 2, 3 \dots n$ é a posição do critério ordenado.

$$W_j(Roc) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{j}, j=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

- **Variable-slope linear (VSL)**

O VSL desenvolvido por Alfares e Duffuaa (2008) é uma metodologia de elicitação de pesos baseados em procedimentos de ordenação. Este método apresenta a relação entre os pesos e ordenação lineares dos critérios, assumindo uma função de inclinação linear em relação ao número de critérios. A expressão matemática para definir os pesos (W) é descrita na seguinte formula:

$$W_{r,n} = 100 - \left(3.19514 + \frac{37.75756}{n} \right) (r-1), \quad 1 \leq n \leq 21 \quad (8)$$

Onde, n: é número de critérios; r: posição do critério de acordo com a importância relativa.

Após a descrição dos dois métodos de ponderação de pesos, estes foram aplicados aos doze critérios do estudo de caso. Os pesos dos critérios nos métodos ROC, VSL e Lawshe estão apresentados na Tabela 4. Em seguida, para comparações dos métodos foram aplicados correlação linear de Pearson (r , $P \leq 0,05$) e Teste de t. Os pesos dos três métodos foram normalizados (Tabela 5), conforme a equação (8). A normalização é necessária para possibilita a comparação entre os métodos pois em sua forma padrão apresentam diferentes valores de escala (MONTGOMERY, 2010).

$$W_a = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad j=1,2,3,\dots,n \text{ tal que,} \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (9)$$

Tabela 4 – Pesos dos doze critérios em diferentes métodos em suas escalas padrões.

Métodos	Pesos de critérios											
	C6	C7	C10	C11	C12	C15	C20	C21	C22	C25	C26	C32
Lawshe	0,909	0,636	0,455	0,652	0,739	0,652	0,714	0,636	0,905	1,000	0,913	0,652
ROC	0,134	0,023	0,007	0,054	0,085	0,043	0,068	0,015	0,106	0,259	0,175	0,032
VSL	87,317	42,926	30,242	61,950	74,634	55,609	68,292	36,584	80,975	100,000	93,658	49,267

Fonte: Elaboração Própria

A Figura 11, ilustra a distribuição dos pesos normalizados entre os doze critérios pelos três métodos, os pesos significam o grau de importância dos critérios no processo decisório. Os critérios C26, C25, C12 foram o que obtiveram maior peso em todos os métodos.

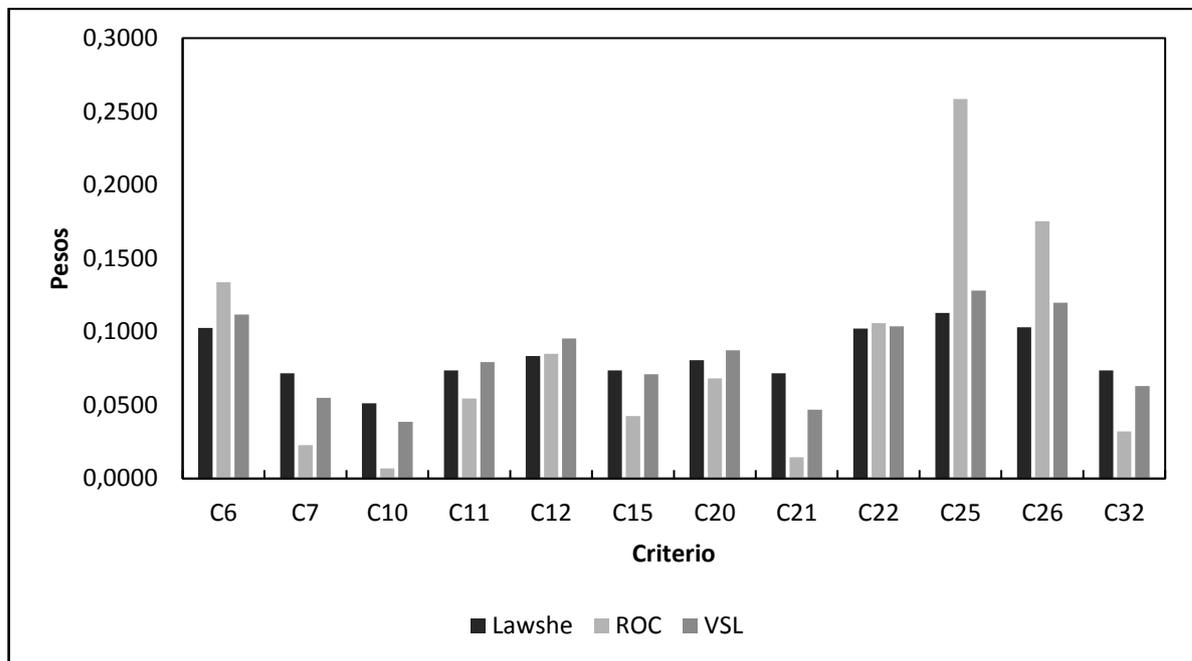


Figura 10 – Pesos normalizados dos doze critérios distribuídos nos três métodos.
Fonte: Elaboração Própria

Os pesos normalizados dos três métodos estão apresentados na Tabela 5, observe-se que no método de Lawshe há distribuições de pesos iguais ($W_{25} > W_{26} > W_6 > W_{22} > W_{12} > W_{20} > W_{11} = W_{15} = W_{32} > W_7 = W_{21} > W_{10}$). Os métodos ROC e VSL apresentaram a mesma ordenação de importância sem igualdade de peso ($W_{25} > W_{26} > W_6 > W_{22} > W_{12} > W_{20} > W_{11} > W_{15} > W_{32} > W_7 > W_{21} > W_{10}$). Os métodos ROC e VSL têm como restrição, há não consideram de critérios como mesma importância.

Tabela 5 – Pesos dos critérios normalizados.

Critério	Métodos					
	Lawshe		ROC		VSL	
	PN	NO	PN	NO	PN	NO
C6	0,1026	3º	0,1336	3º	0,1117	3º
C7	0,0718	8º	0,0229	10º	0,0549	10º
C10	0,0513	9º	0,0069	12º	0,0387	12º
C11	0,0736	7º	0,0544	7º	0,0793	7º
C12	0,0834	5º	0,0850	5º	0,0955	5º
C15	0,0736	7º	0,0425	8º	0,0712	8º
C20	0,0806	6º	0,0683	6º	0,0874	6º
C21	0,0718	8º	0,0145	11º	0,0468	11º
C22	0,1021	4º	0,1058	4º	0,1036	4º
C25	0,1128	1º	0,2586	1º	0,1280	1º
C26	0,1030	2º	0,1753	2º	0,1199	2º
C32	0,0736	7º	0,0321	9ª	0,0630	9º

Legenda- PN: Peso Normalizado; NO: Número de Ordem.

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 6 - correlação linear de Pearson (r) e teste de t dos diferentes métodos de pesos

Métodos	Observação	Correlação	Teste t	Significância
Lawshe e ROC	12	0,8419	4,9334	0,0003
Lawshe e VSL	12	0,8791	5,8336	0,0001
Roc e VSL	12	0,9152	7,8121	0,0001

*Significância ($P \leq 0,05$). Fonte: Elaboração Própria

O coeficiente de correlação de Pearson (r) identificou que há entre os métodos ROC e VSL, alta correlação positiva ($r=0,915$), ou seja, as variáveis são significativamente dependentes. Esta relação positiva forte pode ser explicada pois os métodos ROC e VSL são métodos de informações parciais conhecidos como “*surrogate weights*”. Conforme Almeida Filho et al. (2018) o decisor considera sua preferência sobre os critérios mediante uma ordenação de importância para estabelecimentos dos pesos. A correlação entre os métodos de Lawshe e ROC

($r=0,841$), Lawshe e VSL ($r=0,879$) apresentam uma relação mais baixa quando comparada com a correlação do Roc e VSL. Os resultados podem ser explicados pelo fato dos métodos serem classificados igualmente nas seguintes características: métodos subjetivos, de procedimentos indiretos e de informações parciais. O teste de t a 5% de significância foi utilizado para validar a correlação entre os métodos ROC VSL e Lawshe.

Na metodologia de Lawshe os pesos refletem a importância das preferências dos especialistas em cada critério de maneira não compensatória. Os métodos não compensatórios os pesos refletem o grau de importância dos critérios, ou seja, não sofrem *trade-off* entre os critérios (GUITOUNI e MARTEL 1998; ALMEIDA FILHO et al. 2018). A metodologia de Lawshe consegue mitigar a eliciação de preferências imprecisas ou não cooperativismo por parte do decisor, conforme Deng (2017) processo de deriva pesos em modelos multicritérios é passível de manipulação por parte dos agentes de decisão para seu próprio interesse, visando a influencias das alternativas.

O método de Lawshe é utilizado para validação de itens de questionários. O método é aplicado para mensura a validade de conteúdo, sendo aplicado em diferentes áreas, como saúde, educação, entre outros (WILSON et al., 2012). Esta metodologia não havia sido testada para duas finalidades: seleção e ponderação de pesos de critérios simultaneamente, que consistem nos aspectos inovadores nesse estudo. Neste contexto, propõe-se avaliar a eficácia do método de Lawshe para a seleção e eliciação de pesos de critérios em problemas com múltiplos decisores. A metodologia de Lawshe segundo a classificação de Tzeng et al. (1998) e Ma et al. (1999) é um método subjetivo e segundo a classificação de Weber e Borcheding (1993) e Chou (2013) é um método estatístico, decomposto, indireto e não compensatória.

3.6 CONCLUSÃO

O artigo apresenta o método de Lawshe para eliciação de critérios e pesos implementados a modelos multicritérios. O procedimento considera múltiplos agentes de decisão levando em consenso a opinião subjetiva de cada decisor, de modo, a

reduzir a imprecisão na elicitação de pesos.

Para demonstra a aplicação do método de Lawshe foi conduzido um estudo de caso para priorização da manutenção preventiva de telecomunicações em plataformas de petróleo no Brasil. Sendo selecionados dozes critérios essenciais para manutenção preventiva de telecomunicações *Offshore*. Na comparação do método de Lawshe com os métodos ROC e VSL de pesos de critérios, o Lawshe apresenta as seguintes vantagens: não precisa ordena os critérios por ordem de importância; consegue captar a subjetividade do decisor de forma a atribuir pesos mais concisos; cada critério é avaliado individualmente por cada decisor; considera que dois ou mais critérios podem assumir pesos iguais.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFARES, H. K.; DUFFUAA, S. O. Assigning cardinal weights in multi-criteria decision making based on ordinal ranking. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 15, n. 5-6, p. 125-133, 2008

ALFARES, K.; DUFFUAA, S.O. Assigning cardinal weights in multi-criteria decision making based on ordinal ranking. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 15, n. 5-6, p. 125-133, 2008.

ALMEIDA FILHO, A. T. et al. Preference modeling experiments with surrogate weighting procedures for the PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 2, p. 453–461, 2018.

ALMEIDA, A. T. et al. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. **European Journal of Operational Research**, v. 250, n. 1, p. 179–191, 2016.

AYRE, C.; SCALLY, A. J. Critical Values for Lawshe's Content Validity Ratio. **Measurement and Evaluation in Counseling and Development**, v. 47, n. 1, p. 79–86, 2014.

BADIE, N.; HUSSIN, A. R. C.; LASHKARI, A. H. Cloud Computing Data Center Adoption Factors Validity By *Fuzzy* AHP. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 8, n. 5, p. 854–873, 2015.

BARRON, F. H.; BARRETT, B. E. Decision quality using ranked attribute weights. **Management Science**, v. 42, n. 11, p. 1515–1523, 1996.

BARRON, F. Selecting a best multiattribute alternative with partial information about attribute weights. **Acta Psychologica**, v. 80, n. 1–3, p. 91–103, 1992.

BELTON, V.; PICTET, J. A Framework for Group Decision Using a MCDA Model: Sharing, Aggregating or Comparing Individual Information? **Journal of Decision Systems**, 1997.

CHOO, E. U.; SCHONER, B.; WEDLEY, W. C. Interpretation of criteria weights in multicriteria decision making. **Computers and Industrial Engineering**, v. 37, n. 3, p. 527–541, 1999.

CHOU, J. A Weighted Linear Combination Ranking Technique for Multi - Criteria Decision Analysis. **South African Journal of Economic and Management Sciences**, v. 16, n. 16, p. 28–41, 2013.

CORRENTE, S. et al. A robust ranking method extending ELECTRE III to hierarchy of interacting criteria, imprecise weights and stochastic analysis. **Omega**, v. 73, p. 1–17, 2017.

FIGUEIRA, J.; ROY, B. Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. **European Journal of Operational Research**, v. 139, n. 2, p. 317–326,

GUITOUNI, A.; MARTEL, J.M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. **European Journal of Operational Research**, v. 109, n. 2, p. 501–521, 1998.

HATEFI, S. M.; TORABI, S. A. A common weight MCDA–DEA approach to construct composite indicators. **Ecological Economics**, v. 70, n. 1, p. 114–120, 2010.

HUANG, S.Y et al. Fraud detection using fraud triangle risk factors. **Information Systems Frontiers**, v. 19, n. 6, p. 1343-1356, 2017.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. **Multi-criteria decision analysis: methods and software**. New York: John Wiley & Sons, 2013.

ISHIZAKA, A.; SIRAJ, S. Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 2, p. 462-471, 2018

KEENEY, R.L., RAIFFA, H. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs. Wiley, New York, 1976.

LARSSON, A.; RIABACKE, M.; DANIELSON, M.; EKENBERG, L. Cardinal and rank ordering of criteria — addressing prescription within weight elicitation. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 14, n. 6, p. 1299–1330, 2014.

LAWSHE, C. A Quantitative Approach To Content Validity. **Personnel Psychology**, v. 28, n. 4, p. 563-575, 1975.

LIU, F.; ZHANG, W.-G.; FU, J.H. A new method of obtaining the priority weights from an interval *Fuzzy* preference relation. **Information Sciences**, v. 185, n. 1, p. 32–42, 2012.

MA, J.; FAN, Z.P.; HUANG, L.H. A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights. **European Journal of Operational Research**, v. 112, n. 2, p. 397–404, 1999.

MONTGOMERY, C.; RUNGER, G.C. **Applied statistics and probability for engineers**. New York: John Wiley & Sons, 2010.

MORIDI, P.; ATABI, F.; NOURI, J.; YARAHMADI, R. Selection of optimized air pollutant filtration technologies for petrochemical industries through multiple-attribute decision-making. **Journal of Environmental Management**, v. 197, p. 456–463, 2017.

NETO, A.R.S.; SHIMODA, E.; MARTINS, S. N.; & JUNIOR, M. E. Seleção de critérios para priorização da manutenção preventiva de telecomunicações em plataformas de petróleo. **Exatas & engenharia**, v. 5, n.12, 2015.

PARAVIDINO, W.L.F. et al. Inclusion of sustainability criteria in decision matrix change the alternative of goods in a public institution. **InterSciencePlace**, v.12, n.2, p. 148-195, 2017.

QIN, Q.; LIANG, F.; LI, L.; CHEN, Y.; YU, G. A TODIM-based multi-criteria group decision making with triangular intuitionistic *Fuzzy* numbers. **Applied Soft Computing**, v. 55, p. 93–107, 2017.

SIMOS, J. L'évaluation environnementale: Un processus cognitif négociée. 1990. 221 f. Thèse de doctorat, Universitaires Romande DGF-EPFL, Lausanne, 1990a

SIMOS, J. **Evaluer l'impact sur l'environnement: une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation**. 1990. 261 f. Thèse de doctorat, Presses Polytechniques Et Universitaires Romande, Lausanne, 1990b.

SISKOS, E.; TSOTSOLAS, N. Elicitation of criteria importance weights through the Simos method: A robustness concern. **European Journal of Operational Research**, v. 246, n. 2, p. 543–553, 2014.

STILLWELL, W. G.; SEAVER, D. A.; EDWARDS, W. A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. **Organizational Behavior and Human Performance**, v. 28, n. 1, p. 62–77, 1981.

TZENG, G.-H.; CHEN, T.Y.; WANG, J.-C. A weight-assessing method with habitual domains. **European Journal of Operational Research**, v. 110, n. 2, p. 342–367, 1998.

VON WINTERFELDT D.; & EDWARDS W. *Decision Analysis and Behavioural Research*. New York: Cambridge University Press, 1986.

WANG, Y. J. A criteria weighting approach by combining *Fuzzy* quality function deployment with relative preference relation. **Applied Soft Computing Journal**, v. 14, n. PART C, p. 419–430, 2014.

WANG, Y. M.; LUO, Y. Integration of correlations with standard deviations for determining attribute weights in multiple attribute decision making. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 51, n. 1–2, p. 1–12, 2010.

WEBER, M.; BORCHERDING, K. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. **European Journal of Operational Research**, v. 67, n. 1, p. 1–12, 1993.

WILSON, F.; PAN, W.; SCHUMSKY, D. Recalculation of the critical values for Lawshe's Content Validity Ratio. **Measurement and Evaluation in Counseling and Development**, v. 45, n. 3, p. 197–210, 2012.

XIA, M.; CHEN, J. Multi-criteria group decision making based on bilateral agreements. **European Journal of Operational Research**, v. 240, n. 3, p. 756–764, 2015.

YAN, H. BIN; MA, T.; HUYNH, V. N. On qualitative multi-attribute group decision making and its consensus measure: A probability based perspective. **Omega**, v. 70, p. 94–117, 2017.

YANG, G.L.; YANG, J. B.; XU, D. L.; KHOVEYNI, M. A three-stage hybrid approach for weight assignment in MADM. **Omega**, v. 71, p. 93–105, 2017.

YEH, C. H.; J. WILLIS, R.; DENG, H.; PAN, H. Task oriented weighting in multi-criteria analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 119, n. 1, p. 130–146, 1999.

ZARDARI, N.H. et al. **Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management**. New York: Springer, 2015.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O primeiro objetivo deste trabalho foi identificar os modelos de elicitación de pesos de critérios, compreendendo suas tipologias, características e aplicabilidade. O segundo objetivo foi propor o método de Lawshe para seleção e elicitación de pesos de critérios em problemas com múltiplos decisores.

Este estudo buscou realizar uma análise dos principais métodos de elicitación de pesos de critérios, que se aplicam originalmente a modelos de AMD. No entanto, suas aplicações se estendem a outras áreas da Pesquisa Operacional, Heurística, Inteligência Computacional, entre outras. O trabalho apresentou uma síntese das funcionalidades dos métodos, classificando-os como subjetivos, objetivos, integrados, compensatórios, não compensatórios, único decisor e multidecisor

O segundo objetivo apresenta o método de Lawshe para elicitación de critérios e pesos implementados a modelos multicritérios. O procedimento considera múltiplos agentes de decisão levando em consenso a opinião subjetiva de cada decisor, de modo, a reduzir a imprecisão na elicitación de pesos. Na comparação do método de Lawshe com os métodos ROC e VSL de pesos de critérios, o Lawshe apresenta as seguintes vantagens: não precisa ordena os critérios por ordem de importância; consegue capta a subjetividade do decisor de forma a atribuir pesos mais concisos; cada critério é avaliado individualmente por cada decisor; considera que dois ou mais critérios podem assumir pesos iguais.

Para sugestões futuras sugerimos compara o método de Lawshe com outros

métodos subjetivos e objetivos verificando a vantagens e desvantagem de cada método. Analisar qual é o melhor método de elicitación de pesos a ser utilizado dado um tipo de problema de decisão multicritério. Propor uma função aditiva triangula para avaliações de cenários. Propor um sistema de suporte a decisão para avaliar o melhor método multicritério e de elicitación de pesos a ser utilizado dado as características do problema de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHN, B. S. Approximate weighting method for multiattribute decision problems with imprecise parameters. **Omega**, v. 72, p. 87-95, 2017.

ALFARES, H. K.; DUFFUAA, S. O. Assigning cardinal weights in multi-criteria decision making based on ordinal ranking. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 15, n. 5-6, p. 125-133, 2008

ALFARES, H. K.; DUFFUAA, S. O. Simulation-Based Evaluation of Criteria Rank-Weighting Methods in Multi-Criteria Decision-Making. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 15, n. 1, p. 43-61, 2016.

ALMEIDA FILHO, A. T. et al. Preference modeling experiments with surrogate weighting procedures for the PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 2, p. 453–461, 2018.

ALMEIDA, A. T. et al. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. **European Journal of Operational Research**, v. 250, n. 1, p. 179–191, 2016.

ALMEIDA-FILHO, A. T. et al. A FLEXIBLE elicitation procedure for additive model scale constants. **Annals of Operations Research**, v. 259, n. 1-2, p. 65-83, 2017.

AYRE, C.; SCALLY, A. J. Critical Values for Lawshe's Content Validity Ratio. **Measurement and Evaluation in Counseling and Development**, v. 47, n. 1, p. 79–86, 2014.

BADIE, N.; HUSSIN, A. R. C.; LASHKARI, A. H. Cloud Computing Data Center Adoption Factors Validity By *Fuzzy* AHP. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 8, n. 5, p. 854–873, 2015.

BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. MACBETH. An interactive path towards the construction of cardinal value functions. **International transactions in operational Research**, v. 1, n. 4, p. 489-500, 1994.

BARRON, F. H. Selecting a best multiattribute alternative with partial information about attribute weights. **Acta Psychologica**, v. 80, n. 1, p. 91-103, 1992.

BARRON, F. H.; BARRETT, B. E. Decision quality using ranked attribute weights. **Management Science**, v. 42, n. 11, p. 1515–1523, 1996.

BELTON, V.; PICTET, J. A Framework for Group Decision Using a MCDA Model: Sharing, Aggregating or Comparing Individual Information? **Journal of Decision Systems**, v. 6, n. 3, p. 283-303, 1997.

BEN AMOR, S.; ZARAS, K.; & AGUAYO, E. A. The value of additional information in multicriteria decision making choice problems with information imperfections. **Annals of Operations Research**, v. 253, n. 1, p. 61-76, 2017.

BOUYSSOU, D.; VANSNICK, J. C. Noncompensatory and generalized noncompensatory preference structures. **Theory and decision**, v. 21, n. 3, p. 251-266, 1986.

CARRIZOSA, E. et al. Multi-criteria analysis with partial information about the weighting coefficients. **European Journal of Operational Research**, v. 81, n. 2, p. 291-301, 1995.

CHOO, E.U.; SCHONER, B.; WEDLEY, W.C. Interpretation of criteria weights in multicriteria decision making. **Computers & Industrial Engineering**, v. 37, n. 3, p. 527-541, 1999.

CHOU, J. R. A weighted linear combination ranking technique for multi-criteria decision analysis. **South African Journal of Economic and Management Sciences**, v. 16, n. 5, p. 28-41, 2013.

CHU, A. T. W.; KALABA, R. E.; SPINGARN, K. A comparison of two methods for determining the weights of belonging to *Fuzzy* sets. **Journal of Optimization theory and applications**, v. 27, n. 4, p. 531-538, 1979.

CORRENTE, S. et al. A robust ranking method extending ELECTRE III to hierarchy of interacting criteria, imprecise weights and stochastic analysis. **Omega**, v. 73, p. 1–17, 2017.

DANIELSON, M.; EKENBERG, L. A robustness study of state-of-the-art surrogate weights for MCDM. **Group Decision and Negotiation** v. 26, n. 4, p. 677-691, 2017.

DENG, H.; YEH, C.H; WILLIS, R.J. Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. **Computers & Operations Research**, v. 27, n. 10, p. 963-973, 2000.

DIABY, V.; SANOGO, V.; MOUSSA, K.R. ELICIT: An alternative imprecise weight elicitation technique for use in multi-criteria decision analysis for healthcare. **Expert review of pharmacoeconomics & outcomes research**, v. 16, n. 1, p. 141-147, 2016.

DIAKOULAKI, D.; MAVROTAS, G.; PAPAYANNAKIS, L. Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. **Computers & Operations Research**, v. 22, n. 7, p. 763-770, 1995.

DOUMPOS, M.; GRIGOROUDIS, E. **Multicriteria decision aid and artificial intelligence: links, theory and applications**. New York: John Wiley & Sons, 2013.

EDWARDS, W. How to use multiattribute utility measurement for social decisionmaking. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, v. 7, n. 5, p. 326-340, 1977.

EDWARDS, W.; BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. **Organizational behavior and human decision processes**, v. 60, n. 3, p. 306-325, 1994.

FIGUEIRA, J.; ROY, B. Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. **European Journal of Operational Research**, v. 139, n. 2, p. 317-326, 2002.

FISHBURN, P.C. Noncompensatory preferences. **Synthese**, v. 33, n. 1, p. 393-403, 1976.

FREITAS, J.G.; COSTA, H.G. Impacts of Lean Six Sigma over organizational sustainability: A systematic literature review on Scopus base. **International Journal**

of **Lean Six Sigma**, v. 8, n. 1, p. 89-108, 2017.

GINEVIČIUS, R. A new determining method for the criteria weights in multicriteria evaluation. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 10, n. 6, p. 1067-1095, 2011.

GITINAVARD, H.; MOUSAVI, S. M.; VAHDANI, B. A new multi-criteria weighting and ranking model for group decision-making analysis based on interval-valued hesitant *Fuzzy* sets to selection problems. **Neural Computing and Applications**, v. 27, n. 6, p. 1593-1605, 2016.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisão de decisões em cenários complexos**. São Paulo: Thompson Learning, 2004.

QUITOUNI, A.; MARTEL, J. M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. **European Journal of Operational Research**, v. 109, n. 2, p. 501–521, 1998.

HATEFI, S. M.; TORABI, S. A. A common weight MCDA–DEA approach to construct composite indicators. **Ecological Economics**, v. 70, n. 1, p. 114–120, 2010.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introdução a Pesquisa Operacional*. 8. ed. São Paulo: McGraw Hill, 2006.

HINKLE, D.N. **THE CHANGE OF PERSONAL CONSTRUCTS FROM THE VIEWPOINT OF A THEORY OF CONSTRUCT IMPLICATIONS**. 1965. 117 f. Ph.D. Dissertation, Ohio State University, Michigan, 1965.

HUANG, S.Y et al. Fraud detection using fraud triangle risk factors. **Information Systems Frontiers**, v. 19, n. 6, p. 1343-1356, 2017.

HWANG, C.L; YOON, K. **Multiple attribute decision making: Methods and Applications**. Springer Berlin, 1981.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. **Multi-criteria decision analysis: methods and software**. 1. ed. New York: John Wiley & Sons, 2013.

ISHIZAKA, A.; SIRAJ, S. Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 2, p. 462-471, 2018.

JESUS, I.R.D.; COSTA, H.G. Interfaces between production engineering and the public affairs: evidences from bibliometric analysis. **Scientometrics**, v. 105, n. 2, p. 1183-1193, 2015.

KAHRAMAN, C.; GÜLBAY, M.; KABAK, Ö. **Applications of Fuzzy sets in industrial engineering: a topical classification**. Berlin: Springer, 2006.

KEENEY, R.L., RAIFFA, H. **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs**. New York: Wiley, 1976.

KÖKSALAN, M.; WALLENIUS, J.; & ZIONTS, S. **Multiple criteria decision making. From early history to the 21st century**. Singapura: World Scientific, 2011.

LARSSON, A. et al. Cardinal and rank ordering of criteria—addressing prescription within weight elicitation. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 14, n. 6, p. 1299-1330, 2015.

LAWSHE, C. A Quantitative Approach to Content Validity. **Personnel Psychology**, v. 28, n. 4, p. 563-575, 1975.

LIU, F.; ZHANG, W.-G.; FU, J.H. A new method of obtaining the priority weights from an interval *Fuzzy* preference relation. **Information Sciences**, v. 185, n. 1, p. 32–42, 2012.

LUHRMANN, T.M. Subjectivity. **Anthropological Theory**, v. 6, n. 3, p. 345-361, 2006.

MA, J.; FAN, Z.P.; HUANG, L.-H. A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights. **European Journal of Operational Research**, v. 112, n. 2, p. 397–404, 1999.

MONTGOMERY, C.; RUNGER, G.C. **Applied statistics and probability for engineers**. New York: John Wiley & Sons, 2010.

MORIDI, P.; ATABI, F.; NOURI, J.; YARAHMADI, R. Selection of optimized air pollutant filtration technologies for petrochemical industries through multiple-attribute decision-making. **Journal of Environmental Management**, v. 197, p. 456–463, 2017.

NETO, A.R.S. et al. Seleção de critérios para priorização da manutenção preventiva de telecomunicações em plataformas de petróleo. **Exatas & engenharia**, v. 5, n.12, 2015.

PARAVIDINO, W.L.F. et al. Inclusion of sustainability criteria in decision matrix change the alternative of goods in a public institution. **InterSciencePlace**, v.12, n.2, p. 148-195, 2017.

PEREIRA, V.; COSTA, H.G. A literature review on lot size with quantity discounts: 1995-2013. **Journal of Modelling in Management**, v. 10, n. 3, p. 341-359, 2015.

PICTET, J.; BOLLINGER, D. Extended use of the cards procedure as a simple elicitation technique for MAVT. Application to public procurement in Switzerland. **European Journal of Operational Research**, v. 185, n. 3, p. 1300-1307, 2008.

QIN, Q.; LIANG, F.; LI, L., CHEN, Y.W.; & YU, G.F. A TODIM-based multi-criteria group decision making with triangular intuitionistic *Fuzzy* numbers. **Applied Soft Computing**, 55, 93-107, 2017.

RAMANUJACHARYULU, C. Analysis of preferential experiments. **Psychometrika**, v. 29, n. 3, p. 257-261, 1964.

RIABACKE, M.; DANIELSON, M.; EKENBERG, L. State-of-the-art prescriptive criteria weight elicitation. **Advances in Decision Sciences**, v. 2012, p.1-24, 2012.

ROGERS, M.; BRUEN, M. A new system for weighting environmental criteria for use within ELECTRE III. **European Journal of Operational Research**, v. 107, n. 3, p. 552-563, 1998.

ROWLEY, H.V.; GESCHKE, A.; LENZEN, M. A practical approach for estimating weights of interacting criteria from profile sets. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 272, p. 70-88, 2015.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGrawHill, 1980.

SEURING, S.; MÜLLER, M. From a literature review to a conceptual framework for

sustainable supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 15, p. 1699-1710, 2008.

SHANNON, C.E.; Weaver, W. **The mathematical theory of communication**. Illinois: University of Illinois Press, 1949.

SIMOS, J. L'évaluation environnementale: Un processus cognitif négociée. 1990. 221 f. These de doctorat, Universitaires Romande DGF-EPFL, Lausanne, 1990a

SIMOS, J. **Evaluer l'impact sur l'environnement: une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation**. 1990. 261 f. These de doctorat, Presses Polytechniques Et Universitaires Romande, Lausanne, 1990b.

SISKOS, E.; TSOTSOLAS, N. Elicitation of criteria importance weights through the Simos method: A robustness concern. **European Journal of Operational Research**, v. 246, n. 2, p. 543-553, 2015.

SOLYMOSI, T.; DOMBI, J. A method for determining the weights of criteria: the centralized weights. **European Journal of Operational Research**, v. 26, n. 1, p. 35-41, 1986.

SOTOUDEH-ANVARI, A.; SADI-NEZHAD, S. A new approach based on the level of reliability of information to determine the relative weights of criteria in *Fuzzy TOPSIS*. **International Journal of Applied Decision Sciences**, v. 8, n. 2, p. 164-178, 2015.

SRDJEVIC, B.; SRDJEVIC, Z. Bi-criteria evolution strategy in estimating weights from the AHP ratio-scale matrices. **Applied Mathematics and Computation**, v. 218, n. 4, p. 1254-1266, 2011.

SRINIVASAN, V.; SHOCKER, A. D. Linear programming techniques for multidimensional analysis of preferences. **Psychometrika**, v. 38, n. 3, p. 337-369, 1973.

STILLWELL, W.G.; SEAVER, D.A.; EDWARDS, W. A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. **Organizational behavior and human performance**, v. 28, n. 1, p. 62-77, 1981.

TODESCHINI, R.; GRISONI, F.; NEMBRI, S. Weighted power–weakness ratio for multi-criteria decision making. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**,

v. 146, p. 329-336, 2015.

TORFI, F.; FARAHANI, R. Z.; REZAPOUR, S. *Fuzzy* AHP to determine the relative weights of evaluation criteria and *Fuzzy* TOPSIS to rank the alternatives. **Applied Soft Computing**, v. 10, n. 2, p. 520-528, 2010.

TZENG, G.-H.; CHEN, T.Y.; WANG, J.-C. A weight-assessing method with habitual domains. **European Journal of Operational Research**, v. 110, n. 2, p. 342–367, 1998.

VAN ITTERSUM, K. et al. The validity of attribute-importance measurement: A review. **Journal of Business Research**, v. 60, n. 11, p. 1177-1190, 2007.

VANSNICK, J. C. On the problem of weights in multiple criteria decision making (the noncompensatory approach). **European Journal of Operational Research**, v. 24, n. 2, p. 288-294, 1986.

VON WINTERFELDT, D.; EDWARDS, W. **Decision Analysis and Behavioural Research**. New York: Cambridge University Press, 1986.

WANG, Y. M.; LUO, Y. Integration of correlations with standard deviations for determining attribute weights in multiple attribute decision making. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 51, n. 1–2, p. 1–12, 2010.

WANG, Y. J. A criteria weighting approach by combining *Fuzzy* quality function deployment with relative preference relation. **Applied Soft Computing**, v. 14, p. 419-430, 2014.

WANG, Y.M.; LUO, Y. Integration of correlations with standard deviations for determining attribute weights in multiple attribute decision making. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 51, n. 1, p. 1-12, 2010.

WEBER, M.; BORCHERDING, K. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. **European Journal of Operational Research**, v. 67, n. 1, p. 1-12, 1993.

WILSON, F.; PAN, W.; SCHUMSKY, D. Recalculation of the critical values for Lawshe's Content Validity Ratio. **Measurement and Evaluation in Counseling and Development**, v. 45, n. 3, p. 197–210, 2012.

XIA, M.; CHEN, J. Multi-criteria group decision making based on bilateral agreements. **European Journal of Operational Research**, v. 240, n. 3, p. 756–764, 2015.

YAN, H. BIN; MA, T.; HUYNH, V. N. On qualitative multi-attribute group decision making and its consensus measure: A probability based perspective. **Omega**, v. 70, p. 94–117, 2017.

YANG, G. LIANG; YANG, J. B.; XU, D. L.; KHOVEYNI, M. A three-stage hybrid approach for weight assignment in MADM. **Omega**, v. 71, p. 93–105, 2017.

YEH, C. H.; J. WILLIS, R.; DENG, H.; PAN, H. Task oriented weighting in multi-criteria analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 119, n. 1, p. 130–146, 1999.

ZADEH, L. A. A note on Z-numbers. **Information Sciences**, v. 181, n. 14, p. 2923–2932, 2011.

ZARDARI, N.H. et al. **Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management**. 1. ed. New York: Springer, 2015.

ZAVADSKAS, E.K. et al. Extension of weighted aggregated sum product assessment with interval-valued intuitionistic *Fuzzy* numbers (WASPAS-IVIF). **Applied Soft Computing**, v. 24, p. 1013–1021, 2014.

ZELENY, M. **Multiple Criteria Decision Making**. New York: McGraw-Hill, 1982.