

INTEGRAÇÃO DA METODOLOGIA DE APOIO A DECISÃO CONSTRUTIVISTA COM A ANÁLISE FATORIAL: ANÁLISE DE DESEMPENHO DA SUSTENTABILIDADE PORTUÁRIA

Armando Gonçalves Madeira Junior

CASOP - Marinha do Brasil

madeira.ita@gmail.com

Moacyr Machado Cardoso Junior

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

moacyr@ita.br

Anderson Ribeiro Correia

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

correia@ita.br

Mischel Carmen Neyra Belderrain

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

carmen@ita.br

Silvia Helena Schwanz

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

schwanz.silvia@gmail.com

Resumo

As metodologias multicritério de apoio a decisão (MCDA) são ferramentas adequadas para solução de problemas complexos não estruturados (*wicked*). Estes problemas reais geram um grande número de critérios com relação de dependência entre eles o que inviabiliza o correto emprego do MCDA baseado no critério único de síntese por não atender a propriedade da independência, além de estar acima da capacidade cognitiva do decisor. Este trabalho tem como objetivo propor um método integrado (MCDA-EFA) a metodologia multicritério de apoio a decisão com a técnica da análise fatorial exploratória para resolver este problema. Para comprovar a validade do processo, este método foi aplicado, com sucesso, na avaliação de desempenho de portos quanto à sustentabilidade.

Palavras-Chaves: Portos, MCDA-EFA, Análise Fatorial Exploratória, Sustentabilidade

Abstract

The Multicriteria decision aid methodologies (MCDA) are appropriate tools for solving complex problems unstructured (*wicked*). These real problems produces a large number of criteria with relation of dependence between them, which makes impracticable the correct use of MCDA based on the synthesizing criterion, because not attend of the property of independence, in addition to be above the cognitive capacity of decision maker. This paper aims proposed a method (MCDA-EFA) that integrates Multicriteria Decision Aid with the technique of exploratory factor analysis for solving this problem. To demonstrate the validity of the process, this method was applied successfully in evaluating the performance the sustainability of the ports.

Keyword: Ports, MCDA-EFA, Exploratory Factor Analysis, Sustainability

1. Introdução

Problemas reais são classificados pela literatura em problemas *tame* ou técnicos e problemas *wicked* ou prático (ROSENHEAD e MINGERS, 2001).

O primeiro tipo, os problemas bem estruturados (problemas para os quais uma formulação consensual pode ser expressa em termos de medida de desempenho ou medidas, restrições e as relações através do qual a ação produz conseqüências), são solucionados pelo paradigma tradicional da Pesquisa Operacional (*hard* PO) fundamentado por uma visão racionalista.

Para o segundo tipo, que são de problemas não estruturados, *wicked* são definidos como um conjunto de questões e restrições interconectadas que mudam ao longo tempo, inseridas em um contexto social dinâmico. Nele, as alternativas de solução não são “certo ou errado”, e sim “bom ou ruim” segundo a perspectiva das partes interessadas e não mais do analista. A solução adequada deste tipo de problemas é por intermédio da *soft* PO baseada na visão construtivista, neste sentido surgem os Métodos para Estruturação de Problemas (PSM).

Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001) desenvolveram um método com uma visão construtivista denominado Metodologia Multicritério de Apoio a Decisão Construtivista (MCDA-C) que consiste no uso de mapas cognitivos (técnica utilizada pelo PSM *Strategic Options Development and Analysis* – SODA) na fase de estruturação do problema e do método multicritério MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) na fase de avaliação.

A independência é um conceito primordial nos métodos decorrentes da teoria da utilidade multiatributo – MAUT (KEENEY, 1992), atinentes a abordagem de critério único de síntese. Atendendo as condições de independência entre os critérios, a função utilidade assume uma forma simples, de função aditiva (média ponderada entre as alternativas e pesos dos critérios) (MIRANDA E ALMEIDA, 2004). Verificando as condições de independência preferencial mútua (propriedade da isolabilidade dos Pontos de Vista Fundamentais – PVF ou critérios) permite a realização da avaliação local de uma alternativa em um PVF independente de seu desempenho em outros PVF, além da avaliação global da alternativa, via um modelo de agregação aditiva (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, e NORONHA, 2001).

A grande questão dos problemas reais não estruturados complexos é que os critérios de avaliação ou PVF não atendem a isolabilidade, fato este que impossibilita o correto emprego da agregação aditiva. O presente artigo realiza uma aplicação na área da sustentabilidade portuária que se enquadra na perspectiva *supra*. Os trabalhos de Cardoso Junior, Madeira Junior e Belderrain (2011) e Madeira Junior, Gonçalves e Belderrain (2011) atinentes ao setor portuário utilizam a técnica dos mapas cognitivo, em ambos mapas existem diversas ligações de influência relevantes entre os conceitos que se transformarão em PVF no enquadramento decisório oriundo da análise do mapa cognitivo, confirmando a presença da dependência entre os PVF.

Um artifício adotado para se conseguir a independência entre os PVF é estabelecer descritores construídos para eles cujo conteúdo de suas escalas ordinais não tenha atributos relacionados entre si. Porém a dependência é oculta e pode ser detectada por intermédio de técnicas multivariadas. Afinal, os portos que possuem seus núcleos ambientais organizados e dotados com o número suficiente de pessoal técnico logicamente seus planos ambientais serão aprovados integralmente pela autoridade fiscalizadora e a execução da política ambiental será com maior eficiência.

Outro fator presente nos problemas complexos é a presença de grande número de PVF necessários para a devida avaliação do problema atendendo a propriedade da completude. A redução dos critérios é desejável, pois diminui os julgamentos dos decisores nas comparações par a par que se fundamentam os métodos multicritério como MACBETH (maiores detalhes em Bana e Costa, De Corte e Vansnick (2005)) ou *Analytic Hierarchy Process* (AHP – maiores detalhes em Saaty (1980)), além de adequar a tarefa de julgamento a capacidade cognitiva do decisor. Saaty e Ozdemir (2003) afirmam que existe um limite superior para a capacidade

humana de processamento das informações sobre os elementos que interagem simultaneamente para ter um resultado preciso, com confiabilidade e validade. Este limite é de sete mais ou menos dois elementos. Para Ensslin, Montibeller Neto, e Noronha (2001) acima de cinco “começa a tornar complicado para o decisor”.

O método *Analytic Network Process* (ANP) que é uma generalização do método AHP leva em consideração as relações de dependência, porém há necessidade de realizar um enorme número de julgamentos por parte do decisor para a formação da supermatriz. Além da avaliação dos blocos em que é realizado no AHP (avaliação dos critérios e alternativas), há necessidade de avaliar os blocos referentes à dependência entre os critérios e as alternativas, sendo nulas as matrizes destes blocos transforma-se no AHP (SALOMON, SHIMIZU E LAURINDO, 2007). O uso do ANP em problemas com muitas alternativas e critérios, torna-se pouco prático.

O trabalho proposto inova ao integrar a análise fatorial exploratória (técnica estatística), representante na PO *hard* (racionalista) nos PSM, métodos da PO *soft* (construtivista), durante a fase de estruturação do problema na metodologia MCDA-C, doravante o método integrado proposto será denominado MCDA-EFA. Maiores detalhes sobre a dicotomia PO *hard* e PO *soft*, além as abordagens normativistas, descritivistas, prescritivistas e construtivistas em Madeira Junior (2012).

A literatura apresenta a técnica *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) que converte as relações entre causa e efeito de critérios para um modelo visual estrutural e é utilizado como uma forma de lidar com as dependências interiores dentro de um conjunto de critérios, para depois aplicar alguma técnica multicritério, como em Wu (2008) que aplica o ANP combinado com o DEMATEL, abordagens essencialmente normativistas.

A análise das componentes principais e a análise fatorial são principais técnicas multivariadas de redução de dimensão das variáveis aleatórias originais. A análise fatorial é mais adequada para a redução de números de critérios porque o objetivo dela é identificar estruturas ocultas (fatores comuns que são mutuamente não correlacionados (MINGOTI, 2005)) que possam explicar a intercorrelação entre as variáveis originais (critérios) enquanto que na componente principal as novas variáveis são explicadas pela máxima variância dos dados (SHARMA, 1996). Portanto com a análise fatorial exploratória (EFA) visa atingir os objetivos de independência entre os critérios e redução destes, gerando agrupamentos mais próximos com a abordagem construtivista comparado com a análise de componentes principais, porém é possível a aplicação desta técnica, desde que o seu resultado seja validado pelo decisor (MADEIRA JUNIOR, 2012).

O método integrado proposto MCDA-EFA foi testado com dados quantitativos em: Madeira Junior (2012); Madeira Junior *et al*, 2011, Madeira Junior *et al*, 2010a; Madeira Junior *et al*, 2010b; Madeira Junior *et al*, 2010c; e Madeira Junior *et al*, 2010d.

A escolha da aplicação na área da sustentabilidade portuária é pertinente, pois cerca de 98% do comércio exterior brasileiro circula por meio dos portos, movimentando recursos de aproximadamente US\$ 100 bilhões por ano. Além disso, o sistema de desempenho portuário (SDP) da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) apenas coleta indicadores de desempenho atinentes às questões operacionais enquanto Caixeta-Filho e Martins (2001) pregam a necessidade de incluir os impactos sociais e ambientais na avaliação de desempenho de serviços de transporte de carga.

O objetivo deste trabalho é apresentar um método multicritério de apoio a decisão (MCDA-EFA) que possibilite a redução do número de critérios, de forma a atender a capacidade cognitiva do decisor, diminua o seu esforço no julgamento dos critérios e que garanta a independência entre eles. Para tal, o método proposto integra a análise fatorial exploratória com um viés construtivista ao MCDA-C.

O método integrado proposto será validado em um estudo de caso que compara o resultado do MCDA-C tradicional (MADEIRA JUNIOR *et al*, 2010) com o MCDA-EFA. Este estudo de casos, que tem a finalidade de avaliar os portos brasileiros quanto a sustentabilidade, é dotado apenas de descritores qualitativos.

Este trabalho encontra-se organizado da seguinte forma: na seção de introdução aborda

a motivação e os objetivos para desenvolvimento do estudo; a Seção 2 apresenta o MCDA-EFA que integra o MCDA-C com a análise fatorial exploratória. A Seção 3 dispõe da aplicação do método, resultados obtidos e análise; e finalmente a Seção 4 com as considerações finais.

2. Metodologia

A Figura 1 confronta os MCDA-C e o método integrado proposto (MCDA-EFA). Em termos gerais, a diferença entre os métodos é pela inclusão da Fase de Redução dos PVF.

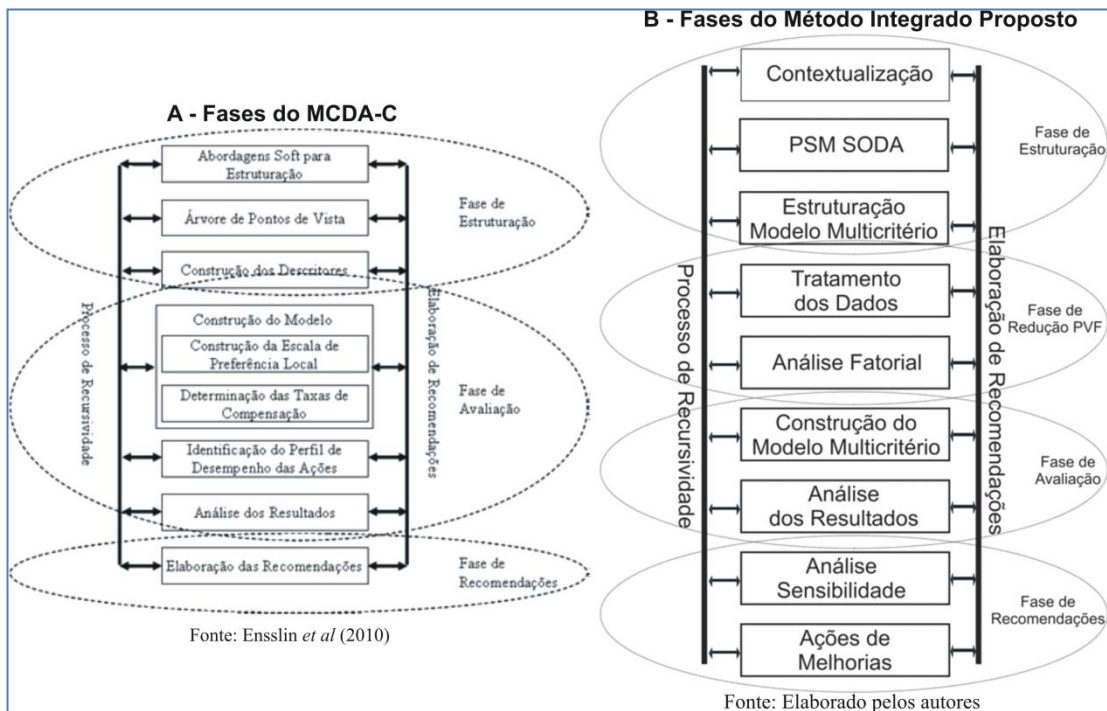


Figura 1 : Comparação do MCDA-C e MCDA-EFA

2.1. Fase de Estruturação

Até a estruturação do modelo multicritério, o MCDA-EFA segue a metodologia MCDA-C sem alterações.

Na contextualização é identificada a definição do problema a ser estruturado, identificação dos seus atores relevantes e possíveis alternativas ou ações potenciais (portos).

No PSM SODA será aplicada a ferramenta dos mapas cognitivos por causa da facilidade de conversão da estrutura destes mapas para a estrutura arborescente hierárquica do modelo multicritério, além do fato que grande maioria das aplicações do MCDA-C utiliza a estruturação e aprendizagem do problema.

Com a análise do mapa cognitivo congregado (considerando a forma e o conteúdo) analista e decisor transformam em estrutura arborescente.

O enquadramento dos ramos do MC possibilita a determinação dos candidatos a PVF, localizando os conceitos que atendam ao mesmo tempo as seguintes propriedades: essencial e controlável.

Diante dos candidatos a PVF é testado se eles atendem as seguintes propriedades dos PVF: completo, mensurável, operacional e compreensível.

Encerrando esta Fase, como os candidatos a PVF são operacionais é possível a construção de uma escala de mensuração do desempenho das ações potenciais, por meio dos descritores e determinação dos níveis de referência BOM e NEUTRO dentro das escalas ordinais.

2.2. Fase de Redução dos PVF

Nesta Fase, com a aplicação da análise fatorial exploratória, os novos critérios (PVF) irão atender as todas as propriedades dos PVF, em especial as que não foram analisadas na Fase anterior: isolável (independência), não-redundância e concisão. Ao término desta fase do MCDA-EFA os candidatos a PVF se constituirão em uma família de PVF, possibilitando a aplicação correta da metodologia multicritério.

A análise fatorial, idealizada por Charles Spearman, é um método multivariado de interdependência, que se propõe em definir a estrutura subjacente entre as variáveis em análise, para o caso de mais de duas variáveis cujos dados são métricos (SHARMA, 1996). Seu principal objetivo é reduzir a dimensão das variáveis originais de forma a se obter uma simplificação na estrutura eliminando a redundância informativa a fim de aumentar a interpretabilidade e detectar estruturas ocultas nos dados (TREIBLMAIER e FILZMOSE, 2010).

A Equação 1 apresenta o modelo matemático da EFA para m fatores comuns (novos critérios ou PVF) e p indicadores (variáveis originais, candidatos a PVF) (SHARMA, 1996).

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = \lambda_{1,1} \xi_1 + \lambda_{2,1} \xi_2 + \dots + \lambda_{m,1} \xi_m + \varepsilon_1 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ x_p = \lambda_{1,p} \xi_1 + \lambda_{2,p} \xi_2 + \dots + \lambda_{m,p} \xi_m + \varepsilon_p \\ x = \Lambda \cdot \xi + \varepsilon \text{ (forma matricial)} \end{array} \right. \quad (1)$$

Onde x é o vetor de indicadores, Λ é a matriz de cargas fatoriais, ξ é o vetor de fatores comuns e ε é o vetor de fatores específicos.

As maiores limitações atribuídas para a EFA pelos pesquisadores são: (1) existência de controvérsia sobre qual é a melhor técnica para a realização da EFA; e (2) o grande número de aspectos subjetivos na EFA (por exemplo, decidir quantos fatores a extrair; qual a técnica de rotação do eixo; quais cargas fatoriais são significativas; como rotular os fatores comuns). Justamente a desvantagem dos diversos aspectos decisórios subjetivos na execução da EFA foram explorados pelo método proposto, de forma a aplicar a ferramenta da EFA, que é um método racionalista normativista, com viés construtivista.

A etapa de tratamento dos dados consiste em criar uma escala cardinal para os PVF por intermédio do MACBETH, verificar o nível de impacto correspondente das alternativas reais (portos) e fictícias (níveis de referência BOM e NEUTRO) para cada PVF, e padronizar os dados (SHARMA, 1996) das alternativas referentes a cada PVF. O resultado desta etapa passo será uma matriz $M_{a+2,p}$, onde $a+2$ são alternativas com os dois níveis de referência BOM e NEUTRO e p são os candidatos a PVF.

A etapa da Análise Fatorial tem como objetivo a redução de dados. O modelo proposto adotará o tipo R de análise fatorial exploratória com unidades métricas.

O analista, na execução da EFA (maiores detalhes em Mingoti (2005)), determina qual será o método de extração dos fatores (no programa estatístico R, o comando *factanal* do pacote *stats* utiliza o método da máxima verossimilhança). O analista irá adotar o procedimento abaixo para seleção de quantos de fatores comuns serão extraídos:

- a) Inicialmente, calcula-se a análise fatorial exploratória considerando o número máximo de fatores comuns, cujo número é menor que a metade do número de indicadores (variáveis) (SHARMA, 1996);
- b) Aplica-se a rotação ortogonal VARIMAX no resultado encontrado;
- c) Configura a EFA com menos um fator ao calculado anteriormente e aplica-se a rotação ortogonal VARIMAX no resultado encontrado. Aplica-se o procedimento desta alínea, sucessivamente, até que a relação entre a variância explicada acumulada e a variância total atinja o valor de 0,5.

A escolha da rotação ortogonal visa à manutenção da independência entre os fatores comuns, característica desejável nos modelos multicritério, e o método VARIMAX por ser a opção mais empregada pela literatura.

A seguir, será realizada a análise das matrizes de fatores pelo facilitador e decisor de forma a identificar qual número de fatores que proporciona o melhor agrupamento das variáveis originais pelos fatores comuns, gerando uma adequada identificação e rotulação dos fatores comuns, verificando a significância das cargas fatoriais, novos PVF.

Encerrando esta Fase, são determinados os escores fatoriais (preserva o padrão ortogonal) para o modelo, definindo, portanto o perfil de impacto das alternativas nos novos PVF.

2.3. Fase de Avaliação

É definida a árvore hierárquica de PVF que será representada pelos fatores comuns da análise fatorial exploratória.

É necessário realizar um ajuste na escala cardinal dos descritores dos novos PVF como o auxílio das alternativas fictícias BOM e NEUTRO, no qual o valor do escore fatorial da alternativa fictícia BOM será atribuído o valor 100 e da alternativa NEUTRO o valor 0, estabelecendo uma nova escala de intervalos para os descritores em cada novo PVF.

Após a definição da nova escala de intervalo dos descritores é determinado o perfil de impacto das ações potenciais (alternativas) em cada PVF, permitindo uma avaliação local das alternativas.

A análise fatorial exploratória realiza a agregação dos candidatos a PVF nos novos PVF. O decisor efetua o julgamento da atratividade entre os novos PVF para a determinação da taxa de compensação, para tal deve considerar os níveis BOM e NEUTRO dos candidatos a PVF e seus pesos (determinado pela carga fatorial) nos fatores, seguindo o método MACBETH.

Da mesma forma que na determinação da função de valor por este método, com base nas respostas do decisor, é construída a matriz de julgamentos. O método MACBETH verifica a consistência semântica da matriz de julgamentos e calcula a escala cardinal por meio de problemas de programação linear (maiores detalhes da formulação matemática em Bana e Costa, De Corte e Vansnick (2005)) que atenda as seguintes condições:

- Se a_1 é mais atrativo que a_2 , então: $v(a_1) > v(a_2)$;
- Se a_1 tem a mesma atratividade que a_2 , então: $v(a_1) = v(a_2)$; e
- Se a diferença de atratividade entre a_1 e a_2 é maior que a diferença entre a_3 e a_4 , então: $v(a_1) - v(a_2) > v(a_3) - v(a_4)$.

Diante da função de agregação aditiva (Equação 2), as informações das taxas de compensações entre os PVF e a avaliação local, é calculada a avaliação global das alternativas.

$$V(a) = \sum_{j=1}^n W_j \times [v_j(a)] \quad (2)$$

Sujeito a: $\sum_{j=1}^n W_j = 1$ e $0 \leq W_j \leq 1$

Onde:

$V(a)$ – avaliação global da ação potencial a .

$v_j(a)$ – avaliação local da ação potencial a no PVF _{j} ;

W_j – taxa de compensação PVF _{j} ;

n – número de PVF do modelo;

2.4. Fase de Recomendações

Esta fase é equivalente ao realizado no MCDA-C, onde o facilitador efetua a análise de sensibilidade para o decisor validar o modelo, levando em consideração os limites superiores e inferiores do cálculo das taxas de compensação pelo MACBETH. Quando necessário pode ser promovida a análise de robustez para verificação da dominância das alternativas. Encerrando o método proposto o facilitador apresenta um relatório com recomendações para o aprimoramento do desempenho da instituição avaliada.

3. Descrição do Problema

O MCDA-EFA inicia com a contextualização do problema. No estudo de casos abordará a avaliação de desempenho dos portos quanto à sustentabilidade que abrange o meio ambiente e segurança do trabalho segundo o sistema de valores do decisor (pesquisador da área portuária). As alternativas (ações potenciais) são representadas pelos seguintes portos brasileiros: Santos, Vitória, Rio Grande, Itajaí, São Francisco do Sul, Suape, Imbituba, Paranaguá, Manaus, Salvador, Fortaleza, Belém, Vila do Conde e Natal.

Para permitir uma comparação do método integrado proposto com o MCDA-C tradicional, foi utilizada a mesma árvore hierárquica de pontos de vista (Figura 2) e seus respectivos descritores contidos em Madeira Junior *et al.* (2010). Desta forma o modelo multicritério é formado por 2 PVF: conformidade ambiental e conformidade de segurança. O PVF conformidade ambiental é formado pelos PVE: núcleo ambiental - pessoal (N1), núcleo ambiental - normas (N2), licença e auditoria ambiental (LA), plano de gerenciamento de resíduos sólidos - situação do plano (S1) e plano de gerenciamento de resíduos sólidos - execução (S2). O PVF conformidade de segurança é dividido nos PVE: programa de prevenção de riscos ambientais (RA), plano de emergência individual – plano (E1), plano de emergência individual – parecer (E2), plano de segurança pública portuária (PP), cargas perigosas (CP), conformidade ISPS Code (*International Ship and Port Facility Security Code*) e serviço de segurança e saúde do trabalhador portuário (SS).

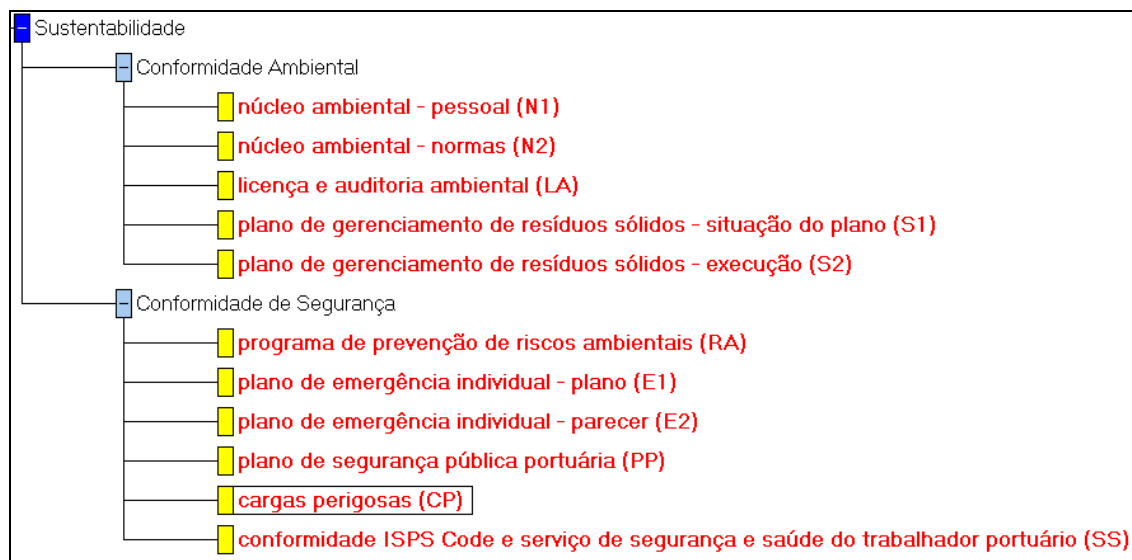


Figura 2 : Árvore de Pontos de Vista Fonte: Madeira Junior *et al.*, (2010).

Encerrada a fase de estruturação, o método proposto inova em incluir no MCDA-C a fase de redução de dados que é composta por duas etapas: tratamento dos dados e análise fatorial.

No tratamento de dados foi calculado o perfil de impacto de todas as alternativas em todos os PVE baseado nas escalas cardinais geradas em Madeira Junior *et al.* (2010), formando

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

a matriz $M_{x,y}$ (onde x corresponde aos portos adicionados dos níveis BOM e NEUTRO; e y aos PVE) que foi padronizada (SHARMA, 1996) para aplicação da análise fatorial exploratória tipo R.

Na etapa da análise fatorial foi utilizado o programa estatístico R que calculou a estrutura de fatores de três (acima de 50% de variância acumulada) a seis (máximo de fatores gerados). Foi aplicada rotação ortogonal VARIMAX para cada estrutura fatorial. A Tabela 1 consolida os agrupamentos dos PVE originais nos fatores comuns conforme a relevância das cargas fatoriais.

Tabela 1 : Agrupamentos gerados pelo Método Integrado Proposto para 3 a 6 fatores comuns

Fatores	6	5	4	3
F1	LA, N2, PP, S2	N1, S1	N1, S1	RA, PP, N2, LA, S2
F2	E1, E2	N2, S2, LA	RA, PP, N2, LA, S2	SS, N1, S1
F3	N1, S1	E1, E2	E1, E2	E1, E2
F4	RA	RA, PP	CP, SS	xxx
F5	CP	SS, CP	xxx	xxx
F6	SS	xxx	xxx	xxx
Variância	84%	78%	68,4%	54,7%

O decisor considerou mais adequado ao problema o agrupamento gerado para cinco fatores comuns.

Caso fosse escolhida a estrutura com três fatores, o facilitador perguntaria ao decisor se o PVE CP é importante para sua avaliação, pois na análise fatorial todas as cargas fatoriais atinentes a esta variável ficaram abaixo de 0,3, demonstrando sua irrelevância para a estrutura fatorial formada. Sendo importante para os valores do decisor, ela pode optar pela estrutura de 4 fatores que contém o PVE CP ou torná-lo PVF junto com os fatores F1, F2 e F3.

Vale ressaltar que somente o decisor tem o poder de retirar uma variável (PVF ou PVE) do problema, dando uma abordagem construtivista à análise fatorial exploratória.

A Tabela 2 apresenta a relevância dos PVE originais para os novos PVF (fatores comuns) segundo os valores das cargas fatoriais

Diante da Tabela 2, o decisor e facilitador realizam a atribuição do rótulo dos fatores comuns segundo o nível de influência das variáveis originais (PVE) dada pelas cargas fatoriais. Neste sentido, os fatores são denominados como: F1 – estrutura material ambiental; F2 – estrutura formal ambiental; F3 – plano de emergência individual; F4 – risco ambiental e de segurança; F5 – salubridade.

Tabela 2 : Cargas Fatoriais para a estrutura fatorial atinente a 5 fatores comuns

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5
RA				0,879	
E1	-0,172		0,917	0,334	
SS	-0,533			0,220	0,518
E2	0,271	0,196	0,809		0,185
CP				-0,199	0,974
PP		0,379	0,283	0,419	
N2	-0,236	0,583	-0,243	0,305	-0,304
N1	0,900	-0,346	0,155	0,192	
LA		0,843	0,114		0,207
S1	0,856	0,360			
S2	0,108	0,548	0,309	0,537	-0,122
Variância Proporcional	0,183	0,163	0,162	0,144	0,129
Variância Acumulada	0,183	0,346	0,508	0,651	0,780

Ao término da fase de redução dos PVF são calculados os escores fatoriais para as alternativas a serem avaliadas (portos) e as duas fictícias (nível BOM e NEUTRO) resultando

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

na matriz $A_{x,z}$ (onde x corresponde as alternativas; e z aos novos PVF).

A nova árvore hierárquica do modelo multicritério é formada pelos fatores comuns de F1 a F5. Segundo os valores dos escores fatoriais relativo às alternativas fictícias BOM (atribuído valor 100) e NEUTRO (atribuído valor 0) é ajustado o perfil de impacto das alternativas em cada PVF.

Encerrando a construção do modelo multicritério são determinadas as taxas de compensação, o decisor ordenou os PVF e realizou o julgamento semântico do grau de atratividade dos PVF considerando a amplitude entre os níveis BOM e NEUTRO. A Tabela 3 apresenta a matriz de julgamento e as taxas de compensação calculadas pelo programa M-MACBETH.

Tabela 3 : Matriz de Julgamento e das taxas de compensação

	F2	F5	F1	F3	F4	Escala Cardinal
F2		muito fraca(6,67)	moderada (26,67)	forte (33,33)	forte (33,33)	40%
F5			moderada (20)	mod./forte (26,67)	mod./forte (26,67)	33,33%
F1				muito fraca(6,67)	muito fraca(6,67)	13,33%
F3					Nulo (0)	6,67%
F4						6,67%

Diante do perfil de impacto das alternativas em cada PVF e as taxas de compensação é aplicada a fórmula da agregação aditiva (Equação 1) para determinar a avaliação global das alternativas.

A aplicação do método integrado proposto reduziu o número de critérios de 11 PVE divididos em 2 PVF para 5 PVF, o que resulta em uma redução de 26 para 10 julgamentos do decisor, desta forma gera um menor esforço do decisor na tarefa de julgamento, estando dentro da sua capacidade cognitiva

A Tabela 4 apresenta uma comparação do cálculo da avaliação global pelo método integrado proposto e do MCDA-C tradicional (MADEIRA JUNIOR *et al*, 2010).

Tabela 4 : Comparação de *Ranking* de Desempenho Portuário quanto à sustentabilidade

Porto	Método Integrado Proposto MCDA-EFA	MCDA-C tradicional
Itajaí	(1) 88,55	(1) 93,69
Suape	(2) 82,17	(2) 88,63
Imbituba	(3) 76,97	(5) 76,40
Fortaleza	(4) 74,44	(3) 86,70
Belém	(5) 70,55	(4) 79,91
Rio Grande	(6) 69,77	(8) 67,62
São Francisco do Sul	(7) 64,95	(6) 71,39
Salvador	(8) 58,67	(9) 55,95
Natal	(9) 53,61	(10) 49,59
Santos	(10) 53,61	(7) 68,92
Vila do Conde	(11) 51,29	(11) 47,27
Manaus	(12) 45,94	(14) 33,76
Vitória	(13) 42,12	(12) 47,19
Paranaguá	(14) 40,31	(13) 46,32

Observa-se que ocorreram pequenas variações na ordem dos portos provocadas, basicamente:

- a) Diferenças nas taxas de compensação entre os modelos;
- b) Estavam presentes dependências lógicas nos PVE do modelo tradicional; e
- c) O modelo tradicional era composto por 11 PVE (5 PVF para o modelo integrado proposto) estando acima na capacidade cognitiva do decisor no processamento dos julgamentos.

4. Conclusões

O uso do modelo integrado proposto (MCDA-EFA) que agrupa a análise fatorial exploratória segundo a abordagem construtivista ao MCDA-C permitiu a redução do número de pontos de vista de onze para cinco. Os novos pontos de vista oriundos da análise fatorial atenderam integralmente as todas as propriedades dos critérios (KEENEY, 1992), principalmente os da isolabilidade e não redundância. Ressalta-se que é possível a aplicação da ACP no método proposto.

A redução do número de critérios implicou numa diminuição de 26 (11 PVE e 2 PVF) para 10 (5 PVF) julgamentos, possibilitando em um menor esforço do decisor e dentro da sua capacidade cognitiva.

O método integrado proposto, bem como o MCDA-C tradicional, para o estudo de casos da avaliação do desempenho portuário quanto à sustentabilidade, permitem a avaliação local e global das alternativas, possibilitando o *benchmarking* entre serviços de diferentes portos, o que proporciona aos que não forem eficientes em determinados PVF possam analisar as boas práticas do porto de melhor desempenho setorial. Desta forma, ambas as abordagens contribuem para o aprimoramento constante desta importante infraestrutura da logística nacional.

Diante do exposto o MCDA-EFA demonstrou ser um método eficaz em problemas complexos não estruturados, inclusive com a presença de dependência entre os critérios, alcançando resultados similares ao MCDA-C tradicional, porém com menor esforço para o decisor. É possível a sua aplicação tanto para descritores qualitativos quanto para quantitativos.

Para trabalhos futuros, sugere-se aperfeiçoar o método integrado proposto para cenários com mais de um decisor, bem como aprimorar a fase de redução de PVF de forma a incrementar a interação entre decisor e facilitador, maximizando o construtivismo e aprendizagem da situação-problema.

Referências Bibliográficas

BANA E COSTA, C. A., DE CORTE, J. M., E VANSNICK, J. C. (2005) On the mathematical foundations of MACBETH. In: J. Figueira, S. Greco, & M. Ehrgott, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pp. 409-442). Boston: Springer.

CAIXETA-FILHO, J. V., E MARTINS, R. S. (2001) *Gestão Logística do Transporte de Cargas* (1a. ed.). São Paulo: Atlas.

CARDOSO JUNIOR, M. M., MADEIRA JUNIOR, A. G., E BELDERRAIN, M. C. (2011). A utilização de mapas cognitivos para a estruturação do sistema de auditoria ambiental portuária. *Revista Produção Online*. v. 11, n. 4, 950-964.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; E NORONHA, S. M. (2001). *Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. Florianópolis: Insular. 296 p.

KEENEY, R. L. (1992) *Value-Focused Thinking - A Path to creative decisionmaking*. Cambridge: Harvard University Press, 416 p.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

MADEIRA JUNIOR, A. G., CARDOSO JUNIOR, M. M., CORREIA, A. R., E BELDERRAIN, M. C. (2010). Desempenho Portuário Brasileiro quanto à sustentabilidade: uma abordagem multicritério. SHEWC'2010 – *X Safety, Health and Environmental World Congress*, (pp. 460-464). São Paulo.

MADEIRA JUNIOR, A. G., CORREIA, A. R., E BELDERRAIN, M. C. (2010a). Desempenho Portuário Brasileiro na operação de terminais de contêineres por meio de abordagens multivariadas e multicritério. *5th Americas International Conference on Production Research*, Bogotá.

MADEIRA JUNIOR, A. G., CORREIA, A. R., E BELDERRAIN, M. C. (2010b). Cálculo do indicador de atratividade portuária por meio da análise fatorial e MACBETH para terminais de contêineres. *XXIV ANPET - Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, Salvador.

MADEIRA JUNIOR, A. G., CORREIA, A. R., E BELDERRAIN, M. C. (2010c). Uso de técnicas Multicritério e Multivariadas para aferir o Desempenho Portuário Brasileiro na operação de terminais de contêineres. *42 Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO*, Bento Gonçalves.

MADEIRA JUNIOR, A. G., CARDOSO JUNIOR, M. M., SCARPEL, R. A., CORREIA, A. R. E BELDERRAIN, M. C. (2010d). Uso de técnicas Multivariadas e Multicritério para aferir a eficiência das companhias aéreas brasileiras. *IX SITRAER – Simpósio de Transporte Aéreo*, Manaus.

MADEIRA JUNIOR, A. G., GONÇALVES, T. J. M., E BELDERRAIN, M. C. N. (2011). Estruturação do problema de avaliação da qualidade dos terminais de contêineres por meio de mapas cognitivos. *Revista Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 3, n. 3, 230-241.

MADEIRA JUNIOR, A. G., CARDOSO JUNIOR, M. M., SCARPEL, R. A., CORREIA, A. R. E BELDERRAIN, M. C. (2011). Multicriteria and multivariate analysis to evaluate the efficiency of brazilian airlines. *Journal of the Brazilian Air Transportation Research Society*, v. 7, n. 2, 51-62.

MADEIRA JUNIOR, A. G. (2012). Aplicabilidade da análise fatorial exploratória como subsídio à metodologia multicritério de apoio à decisão construtivista: Um estudo de caso em transporte aéreo. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica área Produção) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos.

MINGOTI, S. A. (2005) *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: UFMG. 297 p.

MIRANDA, C. M., E ALMEIDA, A. T. (2004). Visão Multicritério da avaliação de pós-graduação pela CAPES: o caso da área Engenharia III baseado nos métodos ELECTRE II e MAUT. *Gestão & Produção*, 11 (1), 51-64.

ROSENHEAD, J. E MINGERS, J. (2001). *Rational Analysis for a Problematic World Revisited*. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons. 384 p.

SAATY, T. L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill. New York. 287 p.

SAATY, T. L., E OZDEMIR, M. S. (2003). Why the Magic Number Seven Plus or Minus Two. *Mathematical and Computer Modelling*, 38, 233-244.

SALOMON, V. A., SHIMIZU, T., E LAURINDO, F. J. (2007). Dependence Analysis and Reduction on the number of judgements applied to an information technology decision problem with the analytic network process. *ISAHP*. Viña Del Mar.

SHARMA, S. (1996). *Applied multivariate techniques*. New York: John Wiley & Sons Inc.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

TREIBLMAIER, H.; FILZMOSER, P. (2010). Exploratory factor analysis revisited: how robust methods support the detection of hidden multivariate data structures in IS research. *Information & Management*, v. 47, p. 197–207.

WU, W. (2008). Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach. *Expert Systems with Applications*, v. 36, I. 3 p. 828–835.