OS IMPACTOS NO APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO EM FUNÇÃO DA ESCOLHA DO MODO DE INVERSÃO DE VALORES PARA CRITÉRIOS COM SENTIDO DE MINIMIZAÇÃO

Bruno Candido da Silva
Programa de Pós-Graduação em Informática - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Av. Athos da Silveira Ramos 274 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil
brunocandido.rj@gmail.com

Éber Assis Schmitz[2], Mônica Ferreira da Silva[3], Luís Alberto Duncan Rangel[4]

[2,3] Programa de Pós-Graduação em Informática - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Av. Athos da Silveira Ramos 274 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

[4] Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal Fluminense (UFF)
Av. dos Trabalhadores 420, Vila Santa Cecília - Volta Redonda, RJ - Brasil

eber@nce.ufrj.br; monica@nce.ufrj.br; luisduncan@id.uff.br

RESUMO

O artigo tem por objetivo verificar os impactos em um processo decisório suportado por análise multicritério ao se fazer a opção por um dos modos de inversão de valores recomendados para critérios com sentido de minimização, realizando um estudo de caso em uma empresa de óleo e gás que avalia a possibilidade de implementar o apoio multicritério à decisão no seu processo de priorização de projetos de P&D. Foram avaliadas diferentes carteiras do portfólio da empresa e realizada uma análise comparativa com o objetivo de verificar os impactos no resultado final ao se utilizar os modos de inversão aditiva e multiplicativa, expressos pelas funções $f(x)=-x$ e $f(x)=1/x$, respectivamente. Foram propostos dois índices – ICR e ICP – a fim de avaliar a concordância entre os ranqueamentos e entre os portfólios produzidos. Os resultados do estudo de caso demonstraram que a escolha do modo de inversão produz impactos relevantes no processo decisório analisado.

PALAVRAS-CHAVE: Apoio Multicritério à Decisão; critérios com sentido de minimização; inversão aditiva e multiplicativa.

Tópicos: Apoio Multicritério à Decisão; Análise de Decisão em Portfólio; Projetos de P&D.

ABSTRACT

The aim of this paper is to verify the impacts in a decision-making process supported by multicriteria analysis when choosing one of the value inversion modes recommended for criteria with minimization target. We carried out a case study in an oil and gas company that is evaluating the use of multiple criteria decision making in its R&D project portfolio selection process. We assessed different project sets of this portfolio and carried out a comparative analysis in order to verify the impacts on the final result when using the additive or the multiplicative value inversion modes, expressed by $f(x)=-x$ and $f(x)=1/x$ functions, respectively. We proposed two indexes – ICR and ICP – to evaluate the accordance between the rankings and between the portfolios produced. The results of the case study showed that the choice of the value inversion mode brings on relevant impacts on the decision-making process analyzed.

KEYWORDS: Multiple Criteria Decision Making (MCDM); criteria with minimization target; additive and multiplicative value inversion modes.

Paper topics: Multiple Criteria Decision Making (MCDM); Portfolio Decision Analysis; R&D Projects.

https://proceedings.science/p/106811?lang=pt-br

1. Introdução

As indústrias têm vivido uma enorme agitação em função dos avanços tecnológicos da última década, aliados aos recentes desenvolvimentos nas áreas de tecnologia da informação e engenharia. Inteligência Artificial, Big Data, Computação na Nuvem eram assuntos de um horizonte distante, mas que estão cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas. A transformação digital em curso modificará radicalmente os processos, produtos e serviços oferecidos, e as empresas precisarão alterar drasticamente a maneira pela qual realizam os seus negócios, a mentalidade dos seus empregados, bem como se reestruturarem para sobreviver. [Osmundsen, Iden e Bygstad 2018]

Os projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I ou, simplesmente, P&D) envolvem gastos elevados, recursos humanos altamente qualificados e uma elevada exposição ao risco. No atual ambiente em constante mudança e incerteza, as organizações dependem de atividades de P&D para se adaptarem ao crescimento intensivo da tecnologia [Mohagheghi, et al. 2017]. A priorização dos projetos de P&D vem a contribuir com o melhor aproveitamento dos recursos da organização, potencializando o processo de mudança e justificando o alto investimento envolvido.

Os sistemas de suporte à decisão são ferramentas que processam e organizam a informação de forma a facilitar a tomada de decisão, como no caso de se decidir quais projetos uma organização pretende desenvolver. Modelagem do processo decisório, estruturação dos dados e a correta definição dos parâmetros do problema são os alicerces para que essas ferramentas forneçam resultados eficazes.

Um dos métodos utilizados no suporte à decisão – Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT – *Multi-Attribute Utility Theory*) [Keeney e Raiffa 1993] – se baseia nas funções de utilidade para representar as preferências dos tomadores de decisão em relação aos critérios que descrevem o problema. Segundo Gomes e Gomes (2014, p. 110 e 111), "Quando um determinado critério tiver um sentido de minimização, as *performances* das alternativas (a_{ik}) correspondentes a este critério podem ser substituídas pelos valores $-a_{ik}$. [...] outra forma de resolver esse tipo de problema é substituir os valores a_{ik} por seus inversos ($1/a_{ik}$).".

A substituição de valores recomendada por Gomes e Gomes resulta nas funções $f(x)=-x$ (inversão aditiva) e $f(x)=1/x$ (inversão multiplicativa), que serão avaliadas por este artigo. Ressalta-se que os autores não fazem distinção de que situações é recomendada a utilização de uma ou de outra função, ou se isso implica em diferenças no resultado final do método multicritério.

Este artigo se propõe a verificar os impactos em um processo decisório suportado por análise multicritério ao se fazer a opção por um dos modos de inversão de valores recomendados por Gomes e Gomes para critérios com sentido de minimização – inversão aditiva ou inversão multiplicativa – realizando um estudo de caso em uma empresa de óleo e gás que está avaliando a possibilidade de implementar o apoio multicritério à decisão no seu processo de priorização de projetos de P&D.

O objetivo do artigo é verificar se a escolha do modo de inversão impacta, ou não, o resultado final proposto pelo apoio multicritério à decisão. Serão avaliadas diferentes carteiras de projetos do portfólio de P&D da empresa e calculados, com base na Teoria da Utilidade Multiatributo, os ranqueamentos resultantes de cada carteira, tendo os modos de inversão aditiva e multiplicativa como variável de análise.

Espera-se responder a seguinte pergunta: a escolha do modo de inversão de valores para critérios com objetivo de minimização impacta o resultado final do processo decisório estudado? Se afirmativo, em que escala?

Os resultados deste estudo visam dar luz à questão da escolha do modo de inversão de valores para critérios com sentido de minimização, que é abordada de forma genérica e sem explicitação dos possíveis impactos envolvidos ao se utilizar um ou outro modo de inversão.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: inicialmente é realizada uma revisão bibliográfica sobre os assuntos de interesse e o levantamento das pesquisas mais recentes. Em seguida, analisamos a proposta que está sendo conduzida na empresa de se implementar o apoio multicritério à decisão no portfólio de projetos de P&D. Apresentamos então o método proposto por este artigo para avaliar os eventuais impactos ao se optar por um ou outro modo de inversão. Na sequência, aplicamos o método em diferentes carteiras de projetos do portfólio de P&D e calculamos os ranqueamentos resultantes. Por fim, realizamos uma análise comparativa dos resultados e apresentamos nossas conclusões.

2. Referencial Teórico

O Manual de Frascati [Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico 2013, p.38] define P&D como "o trabalho criativo empregado de forma sistemática, com o objetivo de aumentar o volume de conhecimentos, abrangendo o conhecimento do homem, da cultura e da sociedade, bem como a utilização desses conhecimentos para novas aplicações".

As iniciativas de P&D são tipicamente conduzidas como projetos. Em organizações que gerenciam uma quantidade elevada de projetos, o agrupamento e o gerenciamento coordenado dos projetos podem trazer melhores resultados do que se fossem gerenciados isoladamente. Segundo o padrão de gerenciamento de portfólio do PMI [Project Management Institute 2017], o portfólio é uma coleção de projetos que são agrupados de forma a facilitar o gerenciamento do trabalho e com a finalidade de atingir os objetivos estratégicos do negócio. Afirma ainda que os componentes do portfólio são quantificáveis, ou seja, podem ser medidos, ranqueados e priorizados.

O gerenciamento de um portfólio é um processo dinâmico de decisão, em que uma lista de novos produtos e projetos de P&D é constantemente atualizada e revisada. Nesse processo, novos projetos são avaliados, selecionados e priorizados, existindo aqueles que são eliminados ou despriorizados para darem lugar a outros projetos [Cooper, Edgett e Kleinschmidt 2001].

Salo, Keisler e Morton (2011, p.6) defendem que a análise de decisão aplicada a portfólio de projeto é um ramo da análise de decisão tradicional: "*Portfolio Decision Analysis (PDA) can be largely viewed as a subfield of decision analysis*", argumentando que o PDA possui características próprias que justificam tal subdivisão.

A tomada de decisão visa resolver ou dissolver o conflito de *tradeoffs* entre os critérios adotados. Quando há apenas um critério, não há *tradeoff*, ou seja, não existe decisão a tomar. Apenas com critérios múltiplos e não agregados é que podemos ir além da pesquisa e mensuração e considerar um processo de tomada de decisão [Zeleny 2010].

O Apoio Multicritério à Decisão consiste em uma metodologia formal e cientificamente fundamentada, que busca uma decisão sólida baseada em uma explicação matemática e em uma avaliação conjunta de múltiplos aspectos do problema. Através de um conjunto de métodos e técnicas, estabelece uma relação de preferências entre diversos fatores intervenientes sob a influência da multiplicidade de critérios, auxiliando pessoas e organizações a tomarem decisões [Magalhães, Rangel e Silva 2017].

Gomes e Gomes (2014, p.88) fazem um esclarecimento importante ao pontuar que "o Apoio Multicritério à Decisão não busca uma solução ótima para determinado problema, como acontece na Pesquisa Operacional tradicional, mas uma solução de compromisso, em que deve prevalecer o consenso entre as partes envolvidas. [...]. Essa abordagem visa, sim, apoiar o processo decisório com a recomendação de ações".

Keeney e Raiffa (1993) introduziram o conceito de se medir a utilidade de cada uma das alternativas disponíveis ao decisor através da Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT – *Multi-Attribute Utility Theory*). O elemento central dessa teoria é a modelagem das preferências do decisor, considerando-se que o decisor é capaz de identificar várias alternativas discretas a serem avaliadas, bem como estruturar os critérios pelos quais as alternativas serão avaliadas.

No caso particular em que se emprega a função de utilidade aditiva, o modelo da MAUT consiste em calcular uma utilidade para cada critério e depois somar essas utilidades, ponderando os critérios de acordo com sua importância relativa aos demais. Para o uso adequado de tal função aditiva, assume-se uma mesma escala, de 0 a 1, para o domínio comum de cada uma das funções individuais, e que se satisfaça a condição de independência entre os critérios utilizados.

A Equação 1 descreve a função de utilidade aditiva segundo Keeney e Raiffa (1993):

$$v(x) = \sum_{i=1}^{n} k_i v_i(x_i) \quad (1)$$

Em que: x_i representa o valor do critério i; $v_i(x_i)$ é o valor de utilidade do critério i; e k_i (com $0 \leq k_i \leq 1$) representa um coeficiente de ponderação do critério i tal que $\sum k_i = 1$.

Relativamente à minimização de critérios, Gomes e Gomes (2014, p. 110 e 111) afirmam que "Quando um determinado critério tiver um sentido de minimização, as *performances* das alternativas (a_{ik}) correspondentes a este critério podem ser substituídas pelos valores $-a_{ik}$. [...] outra forma de resolver esse tipo de problema é substituir os valores a_{ik} por seus inversos ($1/a_{ik}$).". A substituição de valores recomendada por Gomes e Gomes resulta nas funções $f(x)=-x$ (inversão aditiva) e $f(x)=1/x$ (inversão multiplicativa), que serão avaliadas por este artigo.

Lins, Neto e Lobo (2018) propõem uma metodologia baseada em multicritério para avaliar o desempenho das políticas públicas de saúde em municípios brasileiros e abordam maneiras sobre como tratar critérios com sentido de minimização, dando como exemplo "mortalidade infantil" e "número de mortes por causa determinada". Comentam que, para uma correta aplicação do método multicritério, é necessária a inversão de valores de tais critério e apontam as possibilidades de inversão multiplicativa, citando a abordagem *multiplicative inverse transformation (MIT)* de Golany e Roll (1989) e a abordagem de inversão aditiva de Koopmans (1951). Concluem que ambas abordagens são aplicáveis ao caso estudado, acabando por utilizar a inversão multiplicativa.

3. Contextualização

A empresa analisada possui comitês de decisão chamados de CTO (Comitê Tecnológico Operacional) que têm autoridade para decidir quais projetos e propostas de projeto de P&D deverão ser levados adiante ou interrompidos. Cada CTO é responsável por um subconjunto de projetos, agrupados em função das áreas de pesquisa aos quais estão ligados (Engenharia Submarina, Refino, Logística, etc.). No total, são 20 CTO's e um igual número de áreas de pesquisa.

Os CTO's são independentes, tendo autonomia para decidir sobre o subconjunto de projetos (carteira de projetos) pelo qual são responsáveis. Reúnem-se periodicamente para avaliar a carteira de projetos e realizar a tomada de decisão. Esse processo decisório é conhecido na empresa como o processo de priorização de projetos.

A empresa está considerando utilizar o apoio multicritério à decisão para auxiliar a priorização dos projetos do seu portfólio de P&D, tendo como base a Teoria da Utilidade Multiatributo e a função de utilidade aditiva como método multicritério para ordenação dos projetos. Para tanto, os gestores responsáveis pelos CTO's (denominados "coordenadores de CTO") definiram os critérios que pretendem utilizar como base para a avaliação dos seus projetos, as funções de utilidade de cada critério e a ordem de importância relativa entre os critérios.

A Tabela 1 apresenta os critérios, suas descrições e o sentido desejado para o critério (maximizar ou minimizar).

Tabela 1 – Critérios para a tomada de decisão

Critérios	Descrição	Objetivo
CAPEX	Orçamento total previsto para a conclusão do projeto.	Minimizar
Obrigação ANP ou ANEEL	Parcela do orçamento aceita pelo órgão regulador (ANP/ANEEL) como obrigação de investimento.	Maximizar
Benefício (ret. Financeiro)	Retorno financeiro esperado após a implementação do projeto.	Maximizar
Risco Técnico do Projeto	Risco de o projeto não atingir o patamar técnico esperado.	Minimizar
Prazo	Tempo necessário para o desenvolvimento do projeto.	Minimizar
Avaliação	Índice que avalia a aceitação de uma proposta de projeto pelas partes interessadas. No caso de um projeto em execução, trata-se do índice de cumprimento de marcos.	Maximizar
Alinhamento Estratégico *(gap analysis)*	Índice que avalia o *gap* de alinhamento estratégico do projeto.	Minimizar

Para cada critério, foi estabelecida uma função de utilidade, conforme a Figura 1, onde o eixo horizontal (x) representa o critério avaliado e o eixo vertical (y) a utilidade do critério. Foi utilizada a função matemática $f(x)=x$ para os critérios em que o objetivo do coordenador, à luz da priorização dos projetos de P&D, é maximizar o critério, e a função $f(x)=1/x$ (inversão multiplicativa) quando o objetivo é minimizar o critério.

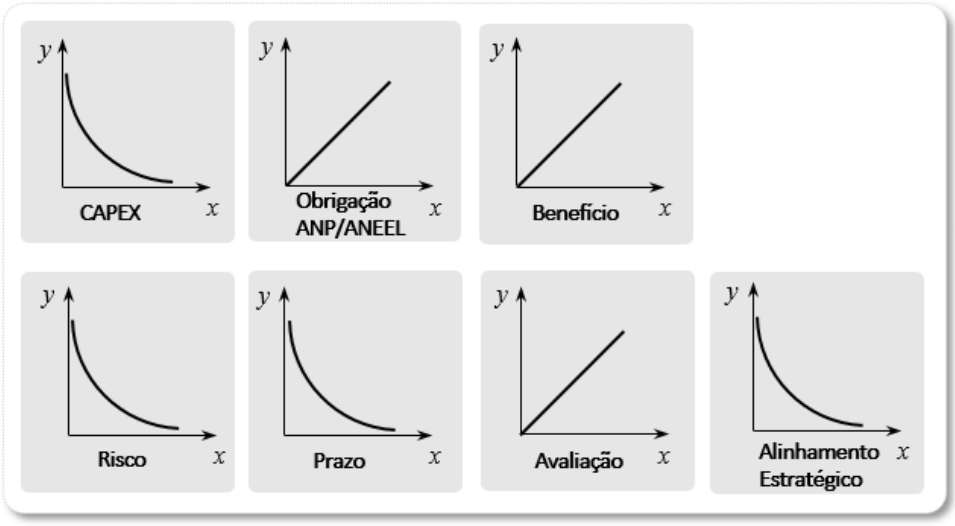


Figura 1 – Funções de utilidade empregadas

Ressalta-se que, na proposta original, a opção pela modalidade de inversão multiplicativa foi feita sem avaliar os possíveis impactos no resultado final do processo decisório caso fosse utilidade a outra modalidade de inversão recomenda por Gomes e Gomes, a aditiva, expressa pela função $f(x)=-x$.

Definidas as funções de utilidade, foi solicitada a ponderação relativa dos critérios aos gestores das carteiras de P&D. Foram avaliadas quatro carteiras de projetos na proposta original de implementação. A Tabela 2 exibe a ordem de importância e o peso relativo entre os critérios, segmentada por cada carteira de projetos.

Tabela 2 – Pesos dos critérios por CTO

Engenharia Submarina		Otimização, Int. e Conf.		Elevação e Escoamento		Energia	
Critérios	**Peso**	**Critérios**	**Peso**	**Critérios**	**Peso**	**Critérios**	**Peso**
Benefício (ret. Financeiro)	0,20	Benefício (ret. Financeiro)	0,20	Benefício (ret. Financeiro)	0,24	Benefício (ret. Financeiro)	0,31
Avaliação	0,16	Alinhamento Estratégico	0,18	Avaliação	0,18	Risco Técnico do Projeto	0,15
Alinhamento Estratégico	0,16	Risco Técnico do Projeto	0,17	Alinhamento Estratégico	0,18	Avaliação	0,15
Obrigação ANP ou ANEEL	0,14	Obrigação ANP ou ANEEL	0,16	Obrigação ANP ou ANEEL	0,12	Obrigação ANP ou ANEEL	0,15
Risco Técnico do Projeto	0,12	CAPEX	0,12	Prazo	0,10	Prazo	0,08
Prazo	0,12	Avaliação	0,10	CAPEX	0,10	CAPEX	0,08
CAPEX	0,10	Prazo	0,08	Risco Técnico do Projeto	0,07	Alinhamento Estratégico	0,08

As funções de utilidade dos critérios e os seus pesos relativos são o insumo necessário para os processamentos subsequentes, que envolvem calcular, para cada projeto, a soma ponderada das utilidades dos critérios (Equação 1). Os resultados finais desse processamento estão disponibilizados em [Autor 2019].

Visando ilustrar a dinâmica funcionamento da Teoria da Utilidade Multiatributo que serviu de base para esse estudo de caso, será apresentado um exemplo simplificado e hipotético, contendo três projetos e dois critérios de avaliação. Sejam os projetos A, B e C avaliados pelos critérios Capex e Benefício, estando o primeiro com objetivo de minimização e o segundo de maximização, conforme a Tabela 3:

Tabela 3 – Exemplo – Valores Brutos (R$ mil)

Projeto	Capex	Benefício
A	1	3
B	2	5
C	2,5	6

Aplicando as funções de utilidade $f(x)=1/x$ para o Capex (minimizar) e $f(x)=x$ para o Benefício (maximizar), chega-se à Tabela 4:

Tabela 4 – Exemplo – Aplicadas as funções de utilidade

Projeto	Capex	Benefício
A	1	3
B	0,5	5
C	0,4	6

Realiza-se a normalização de valores pela raiz da soma dos quadrados, de acordo com a fórmula $a_i/(\sum a_i^2)^{0,5}$ [Gomes e Gomes 2014, p.111], resultando na Tabela 5:

Tabela 5 – Exemplo – Realizada a normalização de valores

Projeto	Capex	Benefício
A	0,842	0,359
B	0,421	0,598
C	0,337	0,717

Suponha os pesos 0,4 para o critério Capex e 0,6 para o Benefício. Realiza-se a soma ponderada das utilidades dos critérios, conforme a Equação 1, resultando na Tabela 6:

Tabela 6 – Exemplo – Resultado final

Projeto	Soma Ponderada
A	0,552
B	0,527
C	0,565

Conclui-se que o projeto C é o mais interessante, seguido do projeto A e do projeto B.

4. Método proposto

A proposta original de implementação da análise multicritério na empresa fez uso da forma 1/x (equivalente ao $1/a_{ik}$ de Gomes e Gomes) para os critérios com sentido de minimização. A questão que se põe é: o resultado final da priorização seria impactado caso fosse utilizada a forma -x (equivalente ao $-a_{ik}$ de Gomes e Gomes)?

A proposta deste artigo é produzir resultados usando a função *f(x)=-x* (inversão aditiva) e compará-los com os resultados obtidos pelo uso da função *f(x)=1/x* (inversão multiplicativa). Serão comparados os resultados de cada uma das quatro carteiras listadas na Tabela 2 e produzidos índices de concordância que visam medir o quanto os resultados estão variando (ou coincidindo) em virtude do modo de inversão utilizado. Propõem-se dois índices:

- Índice de Concordância entre Ranqueamentos (ICR) – avalia o quanto o ranqueamento produzido pela uso da função *f(x)=1/x* coincide com o ranqueamento produzido pelo uso da função *f(x)=-x*. Calculado conforme a Equação 2:

$$ICR = 1 - (\frac{Dif_{Média}}{Dif_{MédiaMáxima}}) \quad (2)$$

  Em que $Dif_{Média}$ é a diferença média das posições dos projetos entre os ranqueamentos e $Dif_{MédiaMáxima}$ é o maior valor possível para a diferença média.

- Índice de Concordância entre Portfólios (ICP) – avalia o quanto o portfólio de projetos sugerido pela uso da função *f(x)=1/x* coincide com o portfólio de projetos sugerido pelo uso da função *f(x)=-x*. Calculado conforme a Equação 3:

$$ICP = \frac{Qtde_{ProjetosCoincidentes}}{Qtde_{TotalProjetos}} \quad (3)$$

  Em que $Qtde_{ProjetosCoincidentes}$ é a quantidade de projetos que coincidem em ambos os portfólios e $Qtde_{TotalProjetos}$ é o número total de projetos na carteira avaliada.

Ambos os índices são valores percentuais em que 0% significa nenhuma coincidência e 100% significa que os ranqueamentos ou portfólios são idênticos.

Exemplo 1 – ICR:

Seja uma lista com 6 elementos: A, B, C, D, E, F. Suponha que o ranqueamento pelo uso de uma das funções seja A, B, C, D, E, F e que a outra função produza A, C, D, E, F, B.

Dif_1ª_Posição=0; Dif_2ª_Posição=1; Dif_3ª_Posição=1;
Dif_4ª_Posição=1; Dif_5ª_Posição=1; Dif_6ª_Posição=4.

Dif_Média = (0+1+1+1+1+4) / 6 = 8 / 6 = 1,33.

Dif_Média_Máxima[1] = 6/2 = 3.

ICR = 1- (Dif_Média / Dif_Média_Máxima) = 1-(1,33/3) = 1-0,44 = 0,56 = 56%.

[1] Calcula-se a diferença média máxima dividindo-se por dois a quantidade total de itens da lista.

Exemplo 2 – ICP:

Seja a mesma lista do exemplo 1: A, B, C, D, E, F. Suponha que cada item da lista é um projeto e que o portfólio sugerido por uma das funções seja: A, B, C, D, deixando E e F fora do portfólio (em razão de uma restrição orçamentária, por exemplo); e que a outra função recomende A, C, D, E, ficando B e F de fora.

Qtde_Projetos_Coincidentes[2] = 4 (A, C, D, F).

Total_de_Projetos = 6.

ICP = Qtde_Ambos_Portfólios / Total_de_Projetos = 4 / 6 = 0,67 = 67%.

5. Aplicação do método

Para a carteira de Elevação e Escoamento, a função $f(x)=1/x$ produziu o ranqueamento exibido na Tabela 7, enquanto a função $f(x)=-x$ o ranqueamento da Tabela 8.

Tabela 7 – Ranqueamento da carteira de Elevação e Escoamento segundo a função $f(x)=1/x$.

#	Projeto	#	Projeto	#	Projeto	#	Projeto	#	Projeto	#	Projeto
1	11200	12	12700	23	PPP-0684	34	PPP-0601	45	PPP-0577	56	PPP-0616
2	12521	13	11909	24	PPP-0583	35	PPP-0608	46	13223	57	PPP-0603
3	11209	14	11204	25	PPP-0569	36	PPP-0490	47	PPP-0567	58	10723
4	11910	15	PPP-0573	26	13255	37	PPP-0568	48	PPP-0628	59	PPP-0629
5	12625	16	13241	27	PPP-0587	38	PPP-0566	49	PPP-0564	60	11213
6	12619	17	PPP-0563	28	PPP-0591	39	12125	50	PPP-0627	61	12902
7	11203	18	PPP-0574	29	10813	40	10895	51	PPP-0584	62	11832
8	PPP-0807	19	12618	30	PPP-0585	41	PPP-0556	52	PPP-0607	63	12018
9	13222	20	PPP-0572	31	PPP-0539	42	PPP-0611	53	PPP-0575	64	12506
10	12904	21	PPP-0588	32	PPP-0586	43	PPP-0610	54	PPP-0571	65	13611
11	12907	22	PPP-0594	33	PPP-0668	44	PPP-0543	55	11210		

Tabela 8 – Ranqueamento da carteira de Elevação e Escoamento segundo a função $f(x)=-x$.

#	Projeto	#	Projeto	#	Projeto	#	Projeto	#	Projeto	#	Projeto
1	11200	12	PPP-0588	23	PPP-0583	34	PPP-0567	45	PPP-0607	56	12125
2	12521	13	PPP-0569	24	PPP-0601	35	11209	46	PPP-0603	57	11210
3	11910	14	PPP-0684	25	PPP-0568	36	PPP-0586	47	PPP-0584	58	13611
4	12625	15	PPP-0587	26	PPP-0566	37	13223	48	PPP-0575	59	10895
5	11203	16	PPP-0594	27	PPP-0608	38	PPP-0556	49	PPP-0629	60	12907
6	13222	17	12618	28	13255	39	PPP-0807	50	PPP-0628	61	12506
7	13241	18	PPP-0572	29	PPP-0490	40	PPP-0611	51	12619	62	11204
8	PPP-0563	19	PPP-0539	30	PPP-0543	41	PPP-0610	52	PPP-0627	63	11213
9	PPP-0574	20	12904	31	10813	42	11909	53	12018	64	11832
10	PPP-0573	21	PPP-0668	32	PPP-0585	43	PPP-0571	54	12902	65	PPP-0577
11	12700	22	PPP-0591	33	PPP-0564	44	PPP-0616	55	10723		

Comparando os ranqueamentos, verifica-se que apenas dois projetos estão exatamente na mesma posição (o primeiro e o segundo) e os outros 63 em posições diferentes. Porém entende-se que a abordagem de apenas apontar se os projetos estão ou não estão situados na mesma posição não é apropriada para o propósito dessa pesquisa, uma vez que não avalia o quanto os projetos variaram de posição e, consequentemente, não quantifica o impacto provocado pelo uso de um ou de outro modo de inversão.

Por essa razão, o cálculo do ICR se baseia nas diferenças absolutas de posição dos projetos entre os ranqueamentos. Por exemplo, o projeto 11910 tem diferença de 1 (está na posição

[2] São considerados tanto os projetos do portfólio aprovado (parte de cima da lista) como os que ficaram de fora (parte de baixo da lista).

4 do ranqueamento de $f(x)=1/x$ e na posição 3 do de $f(x)=-x$), enquanto o projeto PPP-0577 tem diferença de 20 (posição 45 do ranqueamento de $f(x)=1/x$ e posição 65 do de $f(x)=-x$). São obtidas as diferenças absolutas de posição de cada projeto, calculando em seguida a média das diferenças.

Para a carteira de Elevação e Escoamento, a diferença média calculada foi de 9,88. De acordo com a Equação 2, deve-se dividir esse valor pela diferença média máxima (32,5), resultando em 0,30. Obtendo-se em seguida o seu complemento, chega-se ao ICR de 70%.

Para o cálculo do ICP, deve-se considerar que a linha de corte do portfólio[3] ocorre na 60ª posição da lista, incluindo esta. Sendo assim, temos que a quantidade de projetos em ambos os portfólios (de $f(x)=1/x$ e de $f(x)=-x$) foi 59. De acordo com a Equação 3, deve-se dividir esse valor pelo número total de projetos (65), resultando no ICP de 91%.

Os índices de concordância ICR e ICP das demais carteiras foram calculados utilizando-se da mesma lógica ora apresentada, resultando na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – ICR e ICP das carteiras de projetos

CTO	ICR - Índice de Concordância entre Ranqueamentos	ICP - Índice de Concordância entre Portfólios
Engenharia Submarina	74%	88%
Otimização, Integridade e Confiabilidade	61%	87%
Elevação e Escoamento	70%	91%
Energia	71%	82%

As bases de dados e os ranqueamentos resultantes que permitiram chegar aos números da Tabela 9 estão disponíveis em [Autor 2019].

6. Análise dos resultados

Dando sequência à análise da carteira de Elevação e Escoamento, verifica-se o ICR de 70%, que significa dizer que os ranqueamentos são coincidentes entre si em 70%, e o ICP de 91%, que significa dizer que os portfólios são coincidentes entre si em 91%.

O ICR possui um caráter mais teórico, uma vez que realiza uma comparação entre os ranqueamentos sem levar em consideração se as diferenças entre as posições dos projetos irão efetivamente impactar a tomada de decisão. Por exemplo, o projeto 11209 aparece na posição 3 no primeiro ranqueamento (Tabela 7) e na posição 35 do segundo ranqueamento (Tabela 8). O ICR considerará tal diferença, muito embora a decisão do CTO seja a mesma nos dois casos, ou seja, o projeto será selecionado pelo CTO para fazer parte do portfólio aprovado[4].

O ICP possui um caráter mais prático, uma vez que realiza uma comparação entre os ranqueamentos levando em consideração se as diferenças entre as posições dos projetos irão efetivamente impactar a tomada de decisão. No caso do projeto 11209, ilustrado no parágrafo anterior, o ICP não contabilizará tal diferença, uma vez que a mesma não representa impacto na tomada de decisão.

Embora se possa considerar o ICP de 91% como de um grau elevado de concordância, cabe analisar o quão representativo são os outros 9% que não coincidiram entre os dois ranqueamentos. Trata-se dos projetos 12018, 12902, 13611, 11204, 11213 e PPP-0577, que

[3] A linha de corte do portfólio é definida pela empresa e tem como base o orçamento disponível para a carteira.

[4] Deve-se levar em consideração que a linha de corte do portfólio de Elevação e Escoamento está na posição 60, bem além da 35ª posição do projeto dado como exemplo.

somados representam 10% do CAPEX total da carteira. A depender do porte dos projetos e da empresa onde são desenvolvidos, podemos estar falando de milhões de reais sendo direcionados para um ou para outro grupo de projetos em razão da escolha do modo de inversão.

Note-se que os ICP's das demais carteiras de projeto foram menores que o de Elevação e Escoamento – 88% para Engenharia Submarina, 87% para Otimização, Integridade e Confiabilidade e 82% para Energia – de maneira que os impactos na tomada de decisão em tais carteiras seriam ainda maiores.

Relativamente ao ICR, demonstrou-se na seção 5 que o índice de 70% da carteira de Elevação e Escoamento foi obtido a partir da divisão entre a diferença média entre as posições do ranqueamento (9,88) e o maior valor possível para a média das diferenças (32,5). Deve-se observar que uma diferença média de, arredondando, 10 posições é significativa em um conjunto contendo 65 elementos.

Cabe pontuar que o caráter mais teórico do ICR permite supor que outros processos decisórios, que não o do caso estudado, irão possivelmente apresentar variações nos ranqueamentos ao utilizarem as funções $f(x)=1/x$ e $f(x)=-x$.

7. Conclusão

Os resultados deste estudo de caso permitiram demonstrar que o uso das funções $f(x)=1/x$ e $f(x)=-x$ para inversão de valores em critérios com sentido de minimização produz resultados finais diferentes e que tais diferenças podem impactar a tomada de decisão.

Foram obtidos índices de concordância que variaram de 61% a 74% quando avaliados os ranqueamentos produzidos por cada função (ICR), permitindo dizer que a escolha da função produz ranqueamentos com diferenças consideráveis entre si.

Da mesma forma, foram obtidos índices de concordância que variaram de 82% a 91% quando avaliados os portfólios sugeridos por cada função (ICP), permitindo dizer que a escolha da função impacta o processo de se decidir quais projetos devem ter sequência ou não e, indo além, podendo resultar em impactos financeiros para a organização.

Acredita-se que as conclusões deste artigo venham a alertar futuros pesquisadores e analistas de decisão de que a escolha do modo de inversão de valores para critérios com sentido de minimização deve ser criteriosa, haja vista os impactos que a mesma pode causar. A realização de análises de sensibilidade nos casos em que estiverem trabalhando, usando tais funções com variável de análise, poderão auxiliá-los nessa escolha.

Este trabalho limitou-se a analisar o uso das funções $f(x)=1/x$ ou a $f(x)=-x$ em um tipo específico de processo decisório, que é o de priorização de projetos. Além disso, restringiu sua análise à identificação de possíveis impactos no resultado final do processo decisório, sem a intenção de identificar situações em que melhor se aplica uma função ou a outra.

Como estudos futuros, recomenda-se a adaptação do método proposto e aplicação em outros processos decisórios, que não o de priorização de projetos. Acredita-se que o ICR possa ser usado, de forma mais genérica, em outros processos decisórios, entretanto o ICP teria de ser adaptado ou mesmo substituído por novos índices de comparação. Os resultados dessa proposta de pesquisa seriam úteis para expandir as conclusões deste artigo, que são específicas para portfólio de projetos.

Outra proposta de pesquisa seria identificar situações em que melhor se aplicariam as modalidades de inversão aditiva ou multiplicativa, de forma a fornecer ao analista de decisão um norte sobre qual modalidade utilizar em um dado problema.

Referências

Autor. "Google Drive." *Fontes de dados e ranqueamentos para 1/x e -x*. 08 de abril de 2019. https://docs.google.com/spreadsheets/d/1mfvkwskDW5ryRZXXNV7OnYjVgCF1GIyFqG2_N3xPb3Y/edit?usp=drivesdk.

Cooper, R G, S J Edgett, e E J Kleinschmidt. "Portfolio management for new product development: results of an industry practices study." *R&D Management* 31, nº 4 (jan. 2001): 361-380.

Golany, B., e Y. Roll. "An application procedure for DEA." *Omega. Int J Manag Sci 17*, 1989: 237-250.

Gomes, L. F. A. M, e C. F. S Gomes. *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério.* 5ª. São Paulo: Atlas, 2014.

Keeney, R L, e H Raiffa. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs.* Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

Koopmans, T.C. "Analysis of production as an efficient combination of activities." Em *Activity analysis of production and allocation*, por T.C. Koopmans, 33–97. New York: Wiley, 1951.

Lins, M.P.E., S.O.A. Netto, e M.S.C. Lobo. "Multimethodology applied to the evaluation of Healthcare." *Health Care Management Science*, 2018.

Magalhães, R F, L. A. D. Rangel, e C A Silva. "Utilização do Apoio Multicritério à Decisão para Avaliação de Órgãos de Fomento Pesquisa." *Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia.* Rio de Janeiro, 2017.

Mohagheghi, V., S. M. Mousavi, B. Vahdani, e M. R. Shahriari. "R&D project evaluation and project portfolio selection by a new interval type-2 fuzzy optimization approach." *Neural Computing and Applications 28*, Dezembro de 2017: 3869–3888.

Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico. *Manual de Frascati: Metodologia proposta para definição da pesquisa e desenvolvimento experimental.* Rio de Janeiro: F-Iniciativas, 2013.

Osmundsen, Karen, Jon Iden, e Bendik Bygstad. "Digital Transformation: Drivers, Success Factors and Implications." *Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS)*, 2018: 37.

Project Management Institute. *The Standard for Portfolio Management.* Fourth. Pennsylvania, EUA: Project Management Institute, Inc, 2017.

Salo, A, J Keisler, e A Morton. *An Invitation to Portfolio Decision Analysis.* Vol. 162, cáp. 1 em *Portfolio Decision Analysis*, por ____, edição: A Salo, J Keisler e A Morton, 409. New York: Springer, 2011.

Zeleny, M. "Strategy as Action: from Porter to Anti-Porter." *Int. J. Strategic Decision Sciences* 1, nº 1 (2010): 1-22.