



SELEÇÃO DE FORNECEDORES DE EQUIPAMENTOS EM EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA: APLICAÇÃO DE DUAS ABORDAGENS MCDM/A A CENÁRIOS DISTINTOS

Jenny Milena Moreno Rodriguez

Universidade Federal de Pernambuco
Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE
jmilenamoreno@gmail.com

Takanni Hannaka Abreu Kang

Universidade Federal de Pernambuco
Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE
takannihannaka@gmail.com

Adiel Teixeira de Almeida

Universidade Federal de Pernambuco
Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE
almeida@cdsid.org.br

RESUMO

A seleção de fornecedores é uma das atividades mais críticas para muitas organizações, uma vez que pode gerar benefícios quando realizada de maneira apropriada, ou prejuízos financeiros e operacionais quando equivocada. Trata-se de um problema de decisão multicritério por incluir objetivos conflitantes entre si. Neste trabalho aplicamos duas abordagens MCDM/A baseadas no procedimento de Tradeoff tradicional e no método FITradeoff a problemas de seleção de fornecedores de equipamentos em uma empresa de pesquisa agropecuária colombiana. Comparado ao Tradeoff tradicional, o método FITradeoff apresentou a vantagem de não requerer do decisor a especificação de valores exatos de indiferença, e necessitar de menos perguntas para se chegar à solução. A escolha adequada de fornecedores na empresa estudada contribui para uma melhor utilização dos recursos disponibilizados cooperando com a economia e o desenvolvimento sustentável do país.

PALAVRAS CHAVE. Seleção de Fornecedores, Decisão Multicritério, FITradeoff.

Tópicos (ADM-Apoio à Decisão Multicritério)

ABSTRACT

Supplier selection is one of the most critical tasks for many organizations, once it can generate benefits when carried out properly, or financial and operational losses when mistaken. This is a multiple criteria decision problem because it includes conflicting goals. In this work, we apply two MCDM/A approaches based on the traditional Tradeoff procedure and FITradeoff method to equipment supplier selection problems at a Colombian agricultural research company. Compared to traditional Tradeoff, FITradeoff method showed the advantage of not requiring exact values of indifference from the decision maker, and of needing fewer questions to reach the solution. The proper selection of suppliers at the studied company contributes to a better use of the available resources, cooperating to the economy and sustainable development of the country.

KEYWORDS. Supplier Selection. Multiple Criteria Decision Making. FITradeoff.

Paper topics (ADM-Multicriteria Decision Aiding)



1. Introdução

Com o desenvolvimento da economia global e a diversificação do mercado, o processo de seleção de fornecedores nas organizações tem se tornado cada vez mais complexo, demandando procedimentos efetivos para que as decisões sejam tomadas de modo adequado [Sun et al. 2016; Bai e Sarkis 2010]. Enquanto as decisões clássicas de compras consideram aspectos econômicos como fator primordial, abordagens emergentes integram outros fatores além do custo [Aktin e Gergin 2016; Amindoust et al. 2012]. Uma vez que as organizações tipicamente têm inúmeros aspectos a considerar e avaliar na gestão de fornecedores [Bai e Sarkis 2010], fatores quantitativos e qualitativos, tais como qualidade, flexibilidade e desempenho nas entregas devem ser considerados a fim de escolher fornecedores adequados [Chen et al. 2016], conduzindo a um processo de aquisição eficaz que contribua para que a companhia se diferencie sob as condições desafiadoras do mercado atual e mantenha uma posição competitiva estratégica [Aktin e Gergin 2016; Chen et al. 2006].

A seleção de fornecedores é uma das atividades mais críticas para muitas empresas, visto que uma decisão acertada pode gerar benefícios econômicos e melhorar sua competitividade, enquanto uma escolha equivocada pode ser suficiente para perturbar a posição financeira e operacional da empresa [Faez et al. 2009]. Apesar disso, tais decisões são em geral tomadas de maneira não estruturada [Chen et al. 2006]. [Bai e Sarkis 2010] afirmam que dificuldades são encontradas com o aumento dos níveis de complexidade envolvidos ao se considerar várias performances dos fornecedores, pois os gerentes devem ser capazes de analisar e documentar consequências associadas a diversos fatores, convertendo-as em medidas empíricas concisas. A seleção de fornecedores é, portanto, um problema de decisão multicritério em que se quer atender a diversos objetivos estratégicos da empresa, em geral conflitantes [Chen et al. 2006].

Esse é um dos principais problemas estudados na literatura, sendo possível encontrar diversos modelos multicritério com o intuito de resolvê-lo [de Almeida et al. 2016; Faez et al. 2009]. [Chen et al. 2006] afirmam que a questão mais importante no processo de seleção de fornecedores é desenvolver um método adequado para selecionar o fornecedor certo. Ferramentas de suporte à decisão e metodologias podem auxiliar organizações e gestores a tomar decisões mais efetivas [Bai e Sarkis 2010].

Neste trabalho apresentamos um estudo de caso realizado em uma empresa de pesquisa agropecuária, cujo problema é selecionar adequadamente fornecedores de equipamentos laboratoriais para três cenários distintos. Foram identificados critérios relevantes para cada cenário através de consultas ao banco de dados e a especialistas da empresa. Duas abordagens MCDM/A foram utilizadas para fazer recomendações ao decisor: o procedimento de Tradeoff tradicional [Kenney e Raiffa 1993] para elicitação das constantes de escala do modelo aditivo e o método FITradeoff [de Almeida et al. 2016] que utiliza informações parciais a respeito das preferências do decisor.

A estrutura do trabalho está organizada em 5 seções: A seção 2 expõe a metodologia utilizada para a elaboração dos modelos; a seção 3 apresenta o estudo de caso realizado; a seção 4 discute os resultados encontrados através da aplicação; e a seção 5 trata de algumas conclusões gerais.

2. Metodologia

Para auxiliar o processo de seleção de fornecedores na empresa onde o estudo de caso foi conduzido, utilizou-se o modelo matemático de agregação aditivo determinístico [de Almeida 2013], através do qual um valor global para cada alternativa j é atribuído e calculado por

$$v_j(p_{j1}, \dots, p_{jn}) = \sum_{i=1}^n k_i v_i(p_{ji}) \quad (\text{Eq. 1})$$



Em que, para cada um dos n critérios, v_i corresponde à função valor marginal, p_{ji} é o valor da consequência da alternativa j , e k_i é a constante de escala, com $\sum_{i=1}^n k_i = 1$ [Keeney e Raiffa 1993; Keeney e Von Winterfeldt 2007].

Um valor global é então associado a cada alternativa do problema a partir de suas consequências nos critérios. A vencedora será aquela que obtiver o maior valor global.

[Amindoust et al. 2012] enfatizam dois pontos fundamentais a serem definidos em problemas de seleção de fornecedores: o grau de importância dos critérios e os desempenhos de cada fornecedor nesses critérios. No modelo aditivo, no entanto, os valores das constantes de escala devem ser definidos levando-se em consideração não apenas o grau de importância dos critérios representados, mas também o espaço de consequências, isto é, o *range* de valores de consequências para cada critério [de Almeida 2013]. Dessa forma, uma das questões mais importantes ao se trabalhar com o modelo aditivo é determinar os valores das constantes de escala k_i dos critérios [de Almeida et al. 2016].

O procedimento de Tradeoff tradicional [Keeney e Raiffa 1993] possui uma estrutura axiomática robusta e foi aplicado, em uma fase inicial, para elicitar as constantes de escala em cada um dos cenários do estudo de caso. Na literatura há estudos que mostram que esse procedimento pode levar o decisor a cometer uma alta taxa de inconsistências em suas respostas, muitas dessas inconsistências relacionadas à dificuldade do decisor em estabelecer pontos exatos de indiferença [Weber e Borchering 1993]. Sendo essas dificuldades do procedimento conhecidas, utilizou-se como alternativa o método FITradeoff [de Almeida et al. 2016]. Nessa segunda fase os dados da elicitação por Tradeoff tradicional foram utilizados para simular a elicitação de preferências do decisor no método FITradeoff. Ao aplicar o FITradeoff, espera-se obter as mesmas soluções encontradas na fase inicial, uma vez que o método preserva a estrutura axiomática do Tradeoff tradicional, requerendo para isso uma quantidade menor de perguntas respondidas.

As duas abordagens MCDM/A utilizadas neste trabalho para tratar os problemas de seleção de fornecedores acomodam a racionalidade compensatória do decisor, uma vez que ao realizar a agregação aditiva o desempenho baixo de uma alternativa em um critério pode ser compensado por um melhor desempenho nos outros critérios [de Almeida 2013].

3. Estudo de Caso

O estudo de caso foi conduzido em uma empresa colombiana de pesquisa agropecuária que conta com laboratórios de pesquisa presentes em diferentes regiões do país, cada um deles desenvolvendo produtos e serviços de acordo com as características do local onde está inserido. Utilizaram-se dados de seleções de fornecedores e compras anteriores para modelar problemas em três cenários distintos.

3.1 Contexto e Problemática

Decisões a respeito da seleção de fornecedores são fundamentais para organizações [Bai e Sarkis 2010], uma vez que a escolha adequada ou não do fornecedor influenciará a maneira como objetivos estratégicos serão alcançados. Trata-se de um problema de decisão multicritério em que se quer satisfazer diferentes objetivos, geralmente conflitantes [Chen et al. 2006]. As revisões de literatura sobre o tema apresentadas por [Ho et al. 2010] e [Chai et al. 2013], que fazem referência a publicações de 2000 a 2008 e de 2008 a 2012, respectivamente, evidenciam a relevância do assunto.

O estudo de caso apresentado neste trabalho foi realizado em uma empresa colombiana dedicada à pesquisa agropecuária. Essa empresa é composta por laboratórios de pesquisa espalhados pelo país, totalizando sete (7) unidades de análise: química analítica, reprodução animal, entomologia, produção vegetal, microbiologia agrícola, microbiologia pecuária e genética molecular. O problema consiste na compra de equipamentos laboratoriais, sendo necessário, para



isso, selecionar o fornecedor mais adequado considerando-se múltiplos aspectos. No geral, as empresas enfrentam alguns problemas para realizar compras de equipamentos. Problemas como a falta de procedimentos operacionais padrão para o processo de compra e ignorar a adequação do equipamento ao contexto da empresa, por exemplo, são destacados por [Hu et al. 2012].

Recentemente empresas dessa natureza têm recebido especial atenção por parte do governo colombiano, que tem investido recursos para melhorar suas instalações de pesquisa. Nesse contexto, avaliar fornecedores de forma adequada contribui para uma melhor utilização dos recursos governamentais disponibilizados, e para se alcançar o objetivo da empresa, que é desenvolver e executar atividades de pesquisa e transferência de tecnologia ao setor agropecuário, cooperando com a economia e o desenvolvimento sustentável do país. Dessa forma, faz-se necessário avaliar de forma consistente o desempenho de cada fornecedor com respeito a diferentes critérios, a fim de selecionar aquele mais adequado.

3.2. Critérios Avaliados

Especialistas representantes dos laboratórios e dos setores de compras, metrologia e logística da empresa foram consultados para estabelecer critérios relevantes ao problema, descritos a seguir:

- *Preço*: Expressado como valor monetário requerido para compra, em unidades monetárias (pesos colombianos ou COP).
- *Tempo de Entrega*: Corresponde ao número de dias, desde a emissão da ordem de compra até a instalação no local especificado, acordado para entrega do equipamento.
- *Capacidade Técnica*: Pontuação relacionada ao total de especificações técnicas atendidas pelo fornecedor e seu equipamento. A pontuação é definida de acordo com requerimentos técnicos mínimos tais como dimensões, material, sistema elétrico, normas de qualidade etc.
- *Garantia*: Corresponde ao número de meses durante os quais o fornecedor será responsável por eventuais falhas técnicas do equipamento em consequência de defeitos de fabricação ou funcionamento.
- *Treinamento*: Consiste no número de dias oferecidos pelo fornecedor para treinamento e acompanhamento nas adequações do equipamento ao local de instalação, bem como na implementação de testes e métodos de análise.
- *Resposta a Chamado Técnico*: Corresponde ao intervalo de tempo (em horas) dentro do qual o fornecedor deve responder a um pedido de serviço relacionado a problemas operacionais como falha no equipamento, por exemplo.
- *Manutenção*: Definido como o número de serviços de manutenção preventiva e revisão no equipamento sem custo adicional inclusos na oferta do fornecedor.
- *Condições de Pagamento*: Pontuação relacionada à forma como o pagamento poderá ser efetuado, incluindo o número de dias limite para pagamento, e se há possibilidade de crédito ou apenas pagamento total inicial.
- *Experiência*: Critério adicional sugerido pelo decisor. Pontuação que indica a conduta de prestação de serviços do fornecedor, levando em consideração se o mesmo tem histórico de contrato e/ou vendas com a empresa, e se pode comprovar a venda de equipamento igual ou similar a outros clientes.

3.3. Cenários e Matrizes de Consequências

Tomando como base os processos de seleção de fornecedores e compra de equipamentos efetuados previamente pela empresa, definiram-se três cenários para aplicação de modelos de decisão multicritério para seleção de fornecedores. Cada cenário compreende equipamentos laboratoriais pertencentes à mesma faixa de preço que compartilham características



técnicas comuns. Especialistas da empresa foram consultados para estabelecer o conjunto de fornecedores viáveis F e avaliar o desempenho de cada um deles com respeito aos critérios relevantes para cada cenário.

No cenário A consideram-se equipamentos laboratoriais denominados básicos ou de apoio. Esse cenário corresponde à menor faixa de preços, isto é, compreende equipamentos com preço inferior a COP\$ 3.000×10^3 . Analisando as características dos equipamentos do cenário e os objetivos que se deseja alcançar através da seleção adequada do fornecedor, os critérios *Preço*, *Tempo de Entrega*, *Capacidade Técnica* e *Garantia* foram utilizados para avaliar os fornecedores. Critérios relacionados a manutenção, serviço técnico e treinamento não foram considerados relevantes para este cenário, uma vez que são equipamentos de fácil utilização e possuem preço relativamente baixo, sendo sua substituição em casos de dano ou defeito mais provável do que a realização de consertos. Na Tabela 1 encontram-se os valores das consequências de cada fornecedor nos critérios relevantes para o cenário.

Os equipamentos incluídos no cenário B têm preços variando de COP\$ 15.000×10^3 a COP\$ 30.000×10^3 . Comparados aos do cenário A, os equipamentos do cenário B apresentam, além do preço mais elevado, maior grau de complexidade. Nesse caso, os critérios *Treinamento* e *Resposta a Chamado Técnico* também foram considerados, como mostra a Tabela 2.

Finalmente, no cenário C encontram-se equipamentos mais caros, com preços acima de COP\$ 150.000×10^3 . Para esse cenário, o critério *Treinamento* não foi levado em consideração porque os equipamentos específicos avaliados para compra não requerem instruções de uso adicionais às sugeridas pelo fabricante. Por outro lado, os critérios *Condições de Pagamento* e *Experiência* foram acrescentados visto que para a faixa com preços mais elevados a empresa considera a compra como um investimento de recursos que influencia o fluxo de caixa para realizar o pagamento da totalidade do equipamento, além de acarretar consequências de médio e longo prazo. A matriz de consequências para o Cenário C é ilustrada na Tabela 3.

A inclusão ou exclusão de critérios por cenário foi realizada de acordo com ponderações feitas pelo decisor antes de realizar o procedimento de elicitação de preferências.

Tabela 1. Matriz de Consequências para Cenário A.

Fornecedor	Preço ($\times 10^3$) (COP\$)	Tempo de entrega (Dias)	Capacidade Técnica	Garantia (Meses)
F _{A1}	1.785,00	120	8	24
F _{A2}	1.322,40	30	6	12
F _{A3}	1.872,94	30	4	12
F _{A4}	1.190,00	60	8	18
F _{A5}	1.360,45	60	8	12
F _{A6}	1.137,96	45	6	12
F _{A7}	2.023,00	90	8	24

Tabela 2. Matriz de Consequências para Cenário B.

Fornecedor	Preço ($\times 10^3$) (COP\$)	Tempo de entrega (Dias)	Capacidade Técnica	Garantia (Meses)	Treinamento (Dias)	Resposta a Chamado Técnico (Horas)
F _{B1}	25.278,00	90	10	24	1	24
F _{B2}	19.650,00	45	13	18	2	24
F _{B3}	19.275,00	60	12	12	3	24
F _{B4}	23.897,58	90	16	24	2	72
F _{B5}	20.082,00	60	16	12	1	72
F _{B6}	23.383,50	90	13	12	3	48
F _{B7}	22.937,25	90	12	12	1	72



Tabela 3. Matriz de Consequências para Cenário C.

Fornecedor	Preço ($\times 10^3$) (COP\$)	Tempo de entrega (Dias)	Capacidade Técnica	Garantia (Meses)	Manutenção (Quantidade)	Resposta a Chamado Técnico (Horas)	Condições de Pagamento	Experiência
FC ₁	364.000,00	120	49	1	1	24	3	2
FC ₂	275.210,00	90	19	1	0	24	2	3
FC ₃	352.830,00	90	37	3	0	48	3	2
FC ₄	228.400,00	60	41	2	2	24	3	3
FC ₅	210.000,00	90	32	1	0	72	2	2
FC ₆	190.000,00	60	27	1	0	72	1	1
FC ₇	185.150,00	60	33	2	2	72	1	1

Os critérios *Preço*, *Tempo de Entrega* e *Resposta a Chamado Técnico* são critérios de minimização, isto é, quanto menor o valor da consequência do fornecedor em cada um deles, melhor sua performance no problema. Os critérios restantes são de maximização. Para todos os critérios assumem-se funções valor marginais lineares, normalizadas de tal forma que o valor 1 é atribuído ao melhor desempenho no espaço de consequências para o critério em questão, e 0 ao pior desempenho. As funções valor marginais dos critérios de maximização assumem a seguinte forma [de Almeida et al. 2014]

$$v_i(p_{ji}) = \frac{p_{ji} - \text{Min}_{j \in F}(p_{ji})}{\text{Max}_{j \in F}(p_{ji}) - \text{Min}_{j \in F}(p_{ji})} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que v_i corresponde à função valor marginal para o critério i , p_{ji} é o valor da consequência de uma alternativa j no critério i , e $\text{Min}_{j \in F}(p_{ji})$ e $\text{Max}_{j \in F}(p_{ji})$ correspondem, respectivamente, aos valores mínimo e máximo do espaço de consequências para o critério i . Os critérios de minimização são normalizados por

$$v_i(p_{ji}) = \frac{p_{ji} - \text{Max}_{j \in F}(p_{ji})}{\text{Min}_{j \in F}(p_{ji}) - \text{Max}_{j \in F}(p_{ji})} \quad (\text{Eq. 3})$$

3.4. Elicitação das Constantes de Escala – Tradeoff Tradicional

No procedimento de Tradeoff tradicional espera-se que o decisor seja capaz de determinar pontos para os quais ele é indiferente entre perfis de consequências hipotéticos. Considere um problema com um conjunto de alternativas F , 3 critérios de maximização, C_1 , C_2 e C_3 , e a seguinte ordenação de suas constantes de escala: $k_1 > k_2 > k_3$. Convenciona-se $v_i(b_i) = 1$ e $v_i(w_i) = 0$, em que v_i é a função valor marginal monotona crescente do critério C_i , e b_i e w_i correspondem, respectivamente, ao melhor e pior valor do espaço de consequências para C_i . Observe a Figura 1a. No Perfil 1 o desempenho em C_1 é o melhor possível (b_1) e os desempenhos nos outros critérios têm pior valor (w_2 e w_3); o Perfil 2 apresenta melhor desempenho (b_2) em C_2 (critério adjacente a C_1 na ordenação) e pior desempenho nos outros critérios (w_1 e w_3). Aplicando o modelo aditivo (Eq. 1) para agregar as consequências de cada perfil, tem-se que o Perfil 1 é preferível ao Perfil 2, pois $\text{Perfil 1} > \text{Perfil 2} \Leftrightarrow v(\text{Perfil 1}) > v(\text{Perfil 2})$.

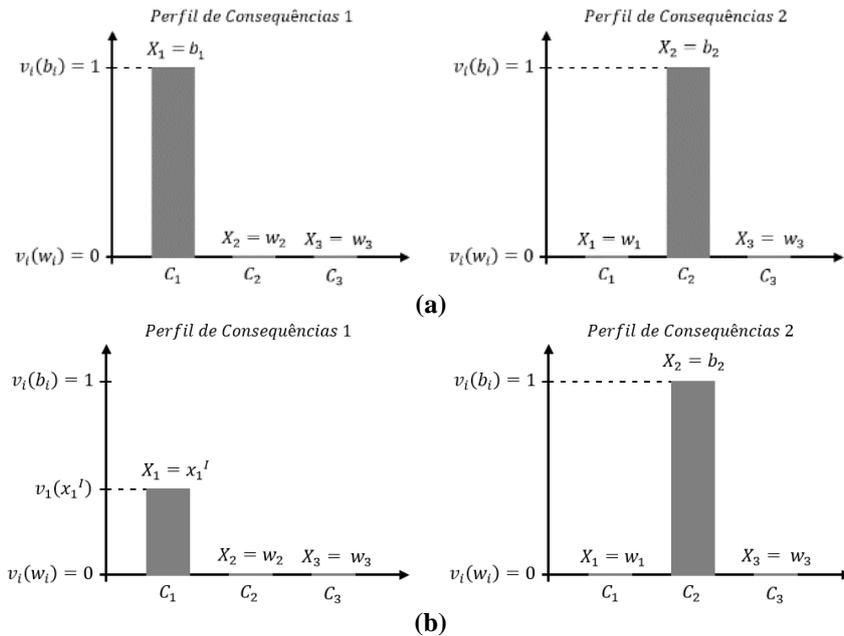


Figura 1. Perfis de consequências hipotéticas no procedimento de Tradeoff tradicional.

Visto que para $X_1 = b_1$ o Perfil 1 é preferível ao 2, o objetivo no Tradeoff tradicional é encontrar um valor de consequência $X_1 = x_1^I < b_1$ tal que o decisor seja indiferente entre os dois perfis (Figura 1b), ou seja, um valor $X_1 = x_1^I$ tal que $v(\text{Perfil 1}) = v(\text{Perfil 2})$, levando à seguinte relação entre as constantes de escala dos critérios adjacentes C_1 e C_2 :

$$k_1 v_1(x_1^I) = k_2$$

Dessa forma, se são considerados n critérios no problema, o decisor precisará especificar um total de $(n - 1)$ pontos de indiferença para os critérios adjacentes na ordenação. As equações obtidas são utilizadas para resolver um sistema de equações lineares em que a n -ésima equação corresponde à equação de normalização das constantes de escala $\sum_{i=1}^n k_i = 1$.

Ao invés de perguntar ao decisor os pontos exatos de indiferença x_i^I para todos os critérios, pode-se manipular o nível de X_i até que o decisor seja capaz de estabelecer o valor x_i^I . Assim, no procedimento de Tradeoff tradicional o decisor precisa responder tantas perguntas quanto forem necessárias para obter todos os pontos de indiferença entre os perfis de consequências hipotéticos, sendo $(n - 1)$ o número mínimo de perguntas necessárias.

No estudo de caso realizado foram obtidas as seguintes ordenações das constantes de escala dos critérios para cada cenário:

- Cenário A: $k_{\text{Capacidade Técnica}} > k_{\text{Preço}} > k_{\text{Garantia}} > k_{\text{Tempo de Entrega}}$
- Cenário B: $k_{\text{Capacidade Técnica}} > k_{\text{Garantia}} > k_{\text{Preço}} > k_{\text{Treinamento}} > k_{\text{Resposta a Chamado Técnico}} > k_{\text{Tempo de Entrega}}$
- Cenário C: $k_{\text{Capacidade Técnica}} > k_{\text{Garantia}} > k_{\text{Experiência}} > k_{\text{Resposta a Chamado Técnico}} > k_{\text{Manutenção}} > k_{\text{Preço}} > k_{\text{Tempo de Entrega}} > k_{\text{Condições de Pagamento}}$

O total de perguntas respondidas pelo decisor para a obtenção das constantes de escala utilizando o procedimento de Tradeoff tradicional foi de 10 para o Cenário A, 12 para o Cenário B e 9 para o Cenário C. Com os resultados das constantes de escala obtidos de acordo com as preferências do decisor para cada cenário, é possível calcular o valor global de cada fornecedor e recomendar os vencedores, conforme mostrado na Tabela 4.



Tabela 4. Resultados obtidos aplicando procedimento de Tradeoff tradicional para elicitar constantes de escala no modelo aditivo

Cenário	Constantes de Escala									Solução Recomendada
	$k_{\text{Preço}}$	$k_{\text{Tempo de Entrega}}$	$k_{\text{Capacidade Técnica}}$	k_{Garantia}	$k_{\text{Resposta a Chamado Técnico}}$	$k_{\text{Treinamento}}$	$k_{\text{Manutenção}}$	$k_{\text{Condições de Pagamento}}$	$k_{\text{Experiência}}$	
A	0,2969	0,0084	0,5938	0,1009	-	-	-	-	-	F_{A4}
B	0,1307	0,0002	0,5228	0,2614	0,0283	0,0566	-	-	-	F_{B4}
C	0,0079	0,0028	0,5032	0,2683	0,0671	-	0,0157	0,0009	0,1342	F_{C5}

Cabe mencionar que foi necessária a presença do analista no processo de elicitação de preferências para explicar os princípios do processo decisório, além de auxiliar na interação com o sistema de apoio à decisão utilizado no processo da elicitação das constantes de escala.

3.5. Aplicação do FITradeoff

O método FITradeoff [de Almeida et al. 2016] usa como base a estrutura axiomática do procedimento de Tradeoff tradicional, apresentando perfis de consequências hipotéticos com respeito aos quais o decisor deve expressar suas preferências. O método FITradeoff, ao contrário do procedimento de Tradeoff tradicional, não requer que o decisor especifique valores exatos de indiferença. As informações parciais obtidas com a ordenação das constantes de escala dos critérios e através de cada resposta do decisor quanto às suas preferências serão utilizadas como restrições em um modelo de programação linear [de Almeida et al. 2016], verificando a cada nova informação obtida se já é possível encontrar a solução. Uma visão geral do método é apresentada na Figura 3. Note que o FITradeoff é flexível, permitindo que o decisor interrompa o processo de elicitação quando considerar que os resultados até então disponíveis são suficientes aos seus propósitos, ou quando não estiver mais disposto a responder.

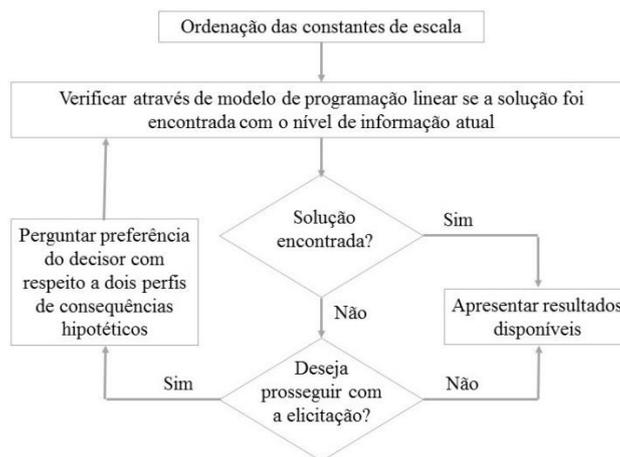


Figura 2. Fluxograma do método FITradeoff (adaptada de [de Almeida et al. 2016]).

Considere o exemplo apresentado na seção 3.4. Se para um valor de consequência $X_1 = x_1'$, o decisor prefere o Perfil 1 ao Perfil 2 (Figura 3a), o intervalo de valores possíveis para x_1^I é reduzido a $\left[\min_{v_j \in F} (p_{j1}), x_1' \right]$. Esse intervalo está relacionado aos valores que podem ser assumidos pelas constantes de escala, reduzindo assim o espaço de pesos [de Almeida et al. 2016]. Com o novo espaço de pesos obtido, se verificará através do modelo de programação linear se a solução foi encontrada. No mesmo exemplo, assumamos que após algumas respostas dadas pelo decisor ainda não foi possível obter a solução, e que os perfis apresentados na pergunta atual consideram novamente os critérios adjacentes C_1 e C_2 (Figura 3b). Dessa vez, para um valor de



consequência $X_1 = x_1''$, o decisor prefere o Perfil 2 ao Perfil 1. Logo, $x_1^I \in [x_1'', x_1']$. A partir dessa nova informação o espaço de pesos será atualizado e se verificará através do modelo de programação linear se a solução foi encontrada.

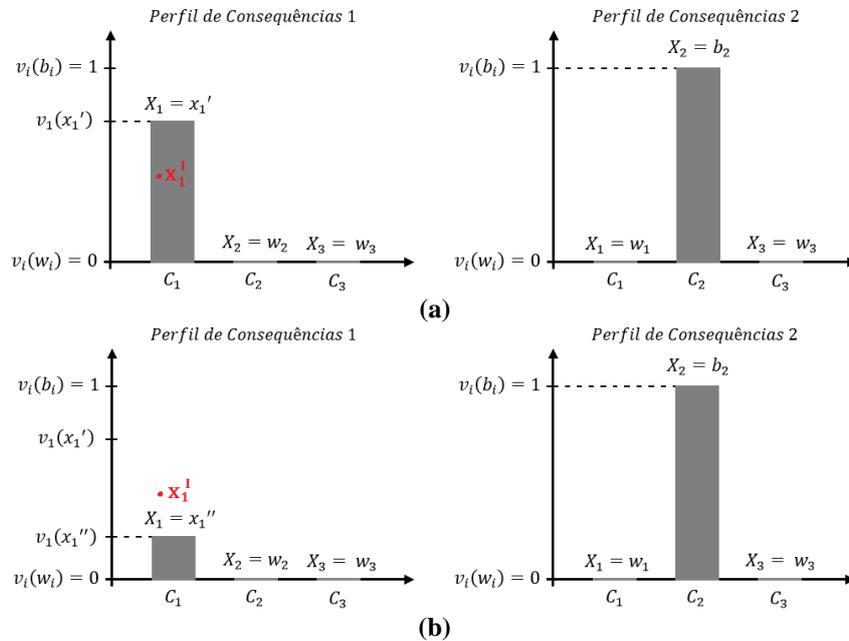


Figura 3. Perfis de consequências hipotéticas no método FITradeoff.

As informações a respeito da ordenação das constantes de escala e as preferências do decisor expressas durante a elicitaco no Tradeoff tradicional para cada cenário foram utilizadas para simular a elicitaco de preferências no método FITradeoff. Nas tabelas 5, 6 e 7 a seguir apresentamos os intervalos das constantes de escala obtidos com o método para cada cenário, bem como os valores específicos que maximizam o *score* de cada alternativa vencedora dentro do intervalo possível. Nota-se a partir dos resultados para o Tradeoff tradicional apresentados na Tabela 4, que os valores das constantes de escala k estão dentro dos limites encontrados com o método FITradeoff para cada cenário.

Tabela 5. Intervalos de valores das constantes de escala obtidos aplicando método FITradeoff – Cenário A

Cenário A	$k_{\text{Preço}}$	$k_{\text{Tempo de Entrega}}$	$k_{\text{Capacidade Técnica}}$	k_{Garantia}
Limite superior	0,3333	0,2000	0,6667	0,2500
Limite inferior	0,2000	0	0,4000	0
k^*	0,3333	0	0,6667	0

Tabela 6. Intervalos de valores das constantes de escala obtidos aplicando método FITradeoff – Cenário B

Cenário B	$k_{\text{Preço}}$	$k_{\text{Tempo de Entrega}}$	$k_{\text{Capacidade Técnica}}$	k_{Garantia}	$k_{\text{Resposta a Chamado Técnico}}$	$k_{\text{Treinamento}}$
Limite superior	0,1429	0,1000	0,6667	0,3333	0,1111	0,1250
Limite inferior	0	0	0,4000	0,2000	0	0
k^*	0	0	0,6667	0,3333	0	0



Tabela 7. Intervalos de valores das constantes de escala obtidos aplicando método FITradeoff – Cenário C

Cenário C	$k_{\text{Preço}}$	$k_{\text{Tempo de Entrega}}$	$k_{\text{Capacidade Técnica}}$	k_{Garantia}	$k_{\text{Resposta a Chamado Técnico}}$	$k_{\text{Manutenção}}$	$k_{\text{Condições de Pagamento}}$	$k_{\text{Experiência}}$
Límite superior	0,1250	0,1111	0,5333	0,3636	0,1667	0,1429	0,1000	0,1818
Límite inferior	0	0	0,2000	0,1667	0,0526	0	0	0,0833
k^*	0,1000	0,1000	0,2000	0,2000	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000

Na Tabela 8 encontram-se os resultados obtidos com o Tradeoff tradicional e com o FITradeoff, bem como o número de perguntas necessário em cada abordagem para obter as soluções.

Tabela 8. Resultados Tradeoff tradicional versus FITradeoff

Cenário	<i>Modelo Aditivo usando procedimento de Tradeoff Tradicional para eliciação das constantes de escala</i>		<i>Método FITradeoff</i>	
	Solução Recomendada	Nº total de perguntas respondidas	Solução Recomendada	Nº total de perguntas respondidas
A	F _{A4}	10	F _{A4}	2
B	F _{B4}	12	F _{B4}	3
C	F _{C5}	9	F _{C5}	4

4. Discussão dos Resultados

O número mínimo de perguntas a serem respondidas no procedimento de Tradeoff tradicional para que seja possível obter uma solução corresponde a $(n - 1)$, em que n é a quantidade de critérios considerados no problema. Dessa forma, para os cenários A, B e C, a quantidade mínima de perguntas respondidas no Tradeoff seria, respectivamente, 3, 5 e 8. Como mostram os resultados obtidos com o Tradeoff tradicional na Tabela 5, para o Cenário A foram respondidas 10 perguntas, isto é, 7 a mais do que o mínimo; para o Cenário B, o decisor excedeu o mínimo também em 7 respostas; e para o Cenário C, foi respondida uma pergunta a mais do que o número mínimo. Nota-se a dificuldade do decisor em responder diretamente os pontos de indiferença entre os perfis de consequências: para os três cenários, foi necessário responder perguntas excedentes para então poder estimar um valor de indiferença.

Utilizando o método FITradeoff, as soluções encontradas foram as mesmas obtidas através do Tradeoff, como esperado, e para todos os cenários foram necessárias menos perguntas do que o mínimo requerido pelo Tradeoff. Dessa forma, para os problemas estudados a aplicação do método FITradeoff pouparia tempo do decisor e contribuiria para diminuir as inconsistências associadas a um grande número de perguntas. Além disso, o decisor não precisaria definir valores exatos de indiferença, mas apenas expressar suas preferências estritas com respeito aos perfis de consequências apresentados, o que é uma tarefa cognitivamente mais fácil.

Os resultados sugerem ainda que quanto mais caro é o equipamento, maior a preocupação em atender outros critérios além do preço. Apesar de o *range* de valores das consequências no critério *Preço* aumentar com o aumento da faixa de preços dos equipamentos, nota-se que a constante de escala associada a esse critério perde posições na ordenação e apresenta valores menores nos resultados. Isso reflete a preocupação por parte da empresa em comprar os equipamentos mais caros de forma consciente, levando em consideração os benefícios a médio e longo prazo associados ao grande investimento econômico realizado, permitindo que outros critérios como *Garantia*, *Manutenção* e *Experiência* sejam considerados mais cuidadosamente.



5. Considerações Finais

Como mencionado, decisões de seleção de fornecedores são importantes para as organizações, uma vez que a escolha realizada influenciará seus objetivos estratégicos. No contexto da empresa apresentada no estudo de caso, a seleção adequada dos fornecedores de equipamentos deve contribuir com seu objetivo, que é desenvolver e executar atividades de pesquisa, desenvolvimento e transferência de processos de inovação tecnológica ao setor agropecuário.

A fim de auxiliar o processo de seleção de fornecedores de equipamentos laboratoriais considerando-se três cenários distintos, utilizaram-se duas abordagens MCDM/A: o procedimento de Tradeoff tradicional para obtenção das constantes de escala com agregação de consequências através do modelo aditivo, e o método FITradeoff que faz uso de informação parcial a respeito das preferências do decisor.

Para os casos de seleção de fornecedores de equipamentos laboratoriais estudados, concluiu-se que o preço não deve ser priorizado em detrimento de outros aspectos, mas critérios relacionados a benefícios de médio e longo prazo devem ser avaliados com atenção, em especial quando os custos de aquisição dos equipamentos são elevados.

Diante da falta de experiência da empresa com o processo metodológico MCDM/A aplicado, notou-se a necessidade de incluir a participação de um analista ou facilitador para auxiliar o processo de tomada de decisão.

Quando comparado ao Tradeoff tradicional, o FITradeoff apresentou vantagens por requerer menos informação do decisor, e fazer perguntas apenas com respeito a preferências estritas, sem necessidade de identificar pontos exatos de indiferença. A aplicação do método contribuiria para uma seleção mais adequada de fornecedores de equipamentos, colaborando para que se atinja os objetivos de melhor aproveitamento dos recursos governamentais investidos na empresa e desenvolvimento econômico e sustentável do país.

Em última análise e dadas as vantagens encontradas ao aplicar o método FITradeoff aos problemas estudados, considera-se para trabalhos futuros explorar outras funcionalidades oferecidas pelo método, como sua flexibilidade e visualização de resultados parciais, e analisar problemas similares considerando-se outros decisores, isto é, realizar um estudo de decisão em grupo.

O Sistema de Apoio à Decisão do método FITradeoff está disponível para download no endereço www.fitradeoff.org.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente apoiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

Referências

1. Aktin, T. e Gergin, Z. (2016). Mathematical modelling of sustainable procurement strategies: three case studies. *Journal of cleaner production*, 113:767–780.
2. Amindoust, A., Ahmeda, S., Saghafinia, A. e Bahreininejad, A. (2012). Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system. *Applied Soft Computing*, 12:1668–1677.
3. Bai, C. e Sarkis, J. (2010). Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies. *International Journal of Production Economics*, 124:252–264.
4. Chai, J., Liu, J. N. e Ngai, E.W. (2013). Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert Systems with Applications*, 40:3872–3885.



5. Chen, C., Lin, C. e Huang, S. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102:289–301.
6. De Almeida, A. T., Almeida, J. A., Costa, A. P. C. S. e Almeida-Filho, A. T. (2016). A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. *European Journal of Operational Research*, 250:179–191.
7. De Almeida, A. T., Vetschera, R. e Almeida, J. A. (2014). Scaling Issues in Additive Multicriteria Portfolio Analysis. In: Dargam, F., Hernández, J. E., Zaraté, P., Liu, S., Ribeiro, R., Delibasic, B., & Papathanasiou, J. (Eds.) *Decision Support Systems III - Impact of Decision Support Systems for Global Environments*. LNBIP 184 (Lecture Notes in Business Information Processing), Springer.
8. De Almeida, A. T. (2013). *Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério*, 1a Edição. Editora Atlas, São Paulo.
9. Faez, F., Ghodsypour, S. H. e O'Brien, B. (2009). Vendor selection and order allocation using an integrated fuzzy case-based reasoning and mathematical programming model. *International Journal of Production Economics*, 121:395–408.
10. Ho, W., Xu, X. e Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 202:16–24.
11. Hu, C., Hu, J., Zhou, Q. e Yang, Y. (2012). Primary Discussion on Standardized Management of Purchasing Large Equipments for Measurement Technology Institution. *Physics Procedia*, 25:1837 – 1844.
12. Keeney, R. e Von Winterfeldt, D. (2007). Practical Value Models. In: Edwards, W., Miles, R. F., & von Winterfeldt, D. (Eds.) *Advances in Decision Analysis: From Foundations to Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
13. Keeney, R. L. e Raiffa, H. (1993). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge University Press, New York.
14. Sun, Y., Zhang, J., Xuemei, Zhang, X. e Lou, P. (2016). A reputation evaluation method for supplier selection. 2016 13TH International Conference on Service Systems and Service Management, 1-5.
15. Weber, M. e Borcherding, K. (1993). Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. *European Journal of Operational Research*, 67:1–12.