

# **Utilização do Apoio Multicritério à Decisão para Avaliação de Órgãos de Fomento Pesquisa**

**Rachel Farias Magalhães**  
rachel\_farias@hotmail.com  
UFF

**Luís Alberto Duncan Rangel**  
duncan@metal.eeimvr.uff.br  
UFF

**Cleidinei Augusto da Silva**  
cleidinei@hotmail.com  
AMAN

**Resumo:** O objetivo geral deste trabalho é realizar uma avaliação, com foco na produtividade e no aproveitamento dos recursos financeiros e pessoais, dos órgãos de fomento à pesquisa do Brasil por meio de uma ordenação, baseada em diversos critérios conflitantes, utilizando a metodologia do Apoio Multicritério à Decisão, através da aplicação do método Tomada de Decisão Interativa e Multicritério (TODIM). O método Todim, baseado na Teoria dos Prospectos, é considerado um modelo híbrido, apresentando uma originalidade ao combinar procedimentos provenientes de métodos tanto da Escola Americana como da Escola Francesa, realizando comparações par a par entre critérios, e utiliza-se de uma abordagem construtivista. O modelo proposto considera seis critérios quantitativos, selecionados por especialistas, para realizar a classificação de 22 órgãos de fomento à pesquisa. Visando enquadrar a pesquisa no atual cenário político e econômico do país, os dados numéricos coletados referentes a todos os órgãos de fomento a pesquisa para a aplicação do método são relativos aos anos de 2015 e 2014. Os resultados indicam que os órgãos que apresentaram a maior contribuição para o fomento à pesquisa no Brasil, foram a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal e de Nível Superior, o Conselho Nacional de Pesquisas e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, nesta ordem respectivamente. A utilização da metodologia multicritério permitiu uma avaliação consistente e robusta das alternativas do modelo com base em diversos critérios conflitantes entre si.

**Palavras Chave: Órgãos de fomento - Apoio Multicritério - TODIM - -**

## 1. INTRODUÇÃO

No século XXI, torna-se impensável a existência de uma sociedade sem comodidades e evoluções tecnológicas que, cada vez mais, são surpreendentemente evoluídas e superadas em um curto espaço de tempo. Em consequência disto, a nação que não incorpora a inovação no seu plano de desenvolvimento está condenada a posição de subordinação e dependência tecnológica, pois a ciência e a tecnologia estão no cerne da geração de riqueza e agregação de valor (MCTI, 2015).

O investimento no desenvolvimento tecnológico e científico demanda dos governos incentivos e financiamentos. Nos países em desenvolvimento essa dependência dos recursos do governo é ainda mais significativa, uma vez que ainda não se tem um parque industrial pioneiro, independente do ramo de atuação, pois são, normalmente, apenas subsidiários de suas matrizes, como pode ser identificado no Brasil.

Neste cenário, faz-se necessário a criação de políticas públicas capazes de gerir e financiar o desenvolvimento tecnológico. No Brasil, foram criados diversos órgãos, agências e fundos de fomento à pesquisa tanto no âmbito nacional quanto no estadual.

Em meio a tantos órgãos disponíveis surge um novo desafio que é de definir uma metodologia hábil e coerente para realizar a avaliação destes órgãos, de acordo com a sua evolução ao longo dos anos, em quesitos como, por exemplo, recursos investidos, quantidade de patentes criadas, número de doutores formados, quantidade de programas oferecidos pelo órgão entre outros inúmeros critérios.

Neste cenário, uma avaliação dos órgãos de fomento à pesquisa existentes no país, estabelecida através de uma ordenação com relação a diversos critérios, pode ser útil aos pesquisadores na escolha da melhor alternativa para realizar uma filiação ou submissão de solicitações. Vantajosa, também, para atrair investimentos do setor privado, e, principalmente, por poder se tornar uma ferramenta de grande valia para auxiliar o governo a identificar pontos de necessidade de melhorias e focos de investimentos estratégicos, uma vez que políticas bem estruturadas e direcionadas, definitivamente são consideradas como meios transformadores.

## 2. FOMENTO À PESQUISA NO BRASIL

De acordo com Pilling (2011), os órgãos de fomento à pesquisa são instituições financeiras não bancárias, regulamentadas pelo Banco Central do Brasil, que podem realizar, na Unidade da Federação onde tenham sede, observada a regulamentação aplicável em cada caso, o financiamento de capitais fixo e de giro associado a projetos, a prestação de garantias em operações compatíveis com o seu objeto social e a cessão de créditos para projetos de desenvolvimento e pesquisa. Os órgãos e fundações promovem o financiamento de pesquisas científicas e tecnológicas, que visam o desenvolvimento do país.

No âmbito nacional, o gerenciamento e coordenação da execução dos programas e ações definidas na Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação é de responsabilidade do Ministério da Ciência e Tecnologia. Os três principais órgãos nacionais de fomento à pesquisa no país são o Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

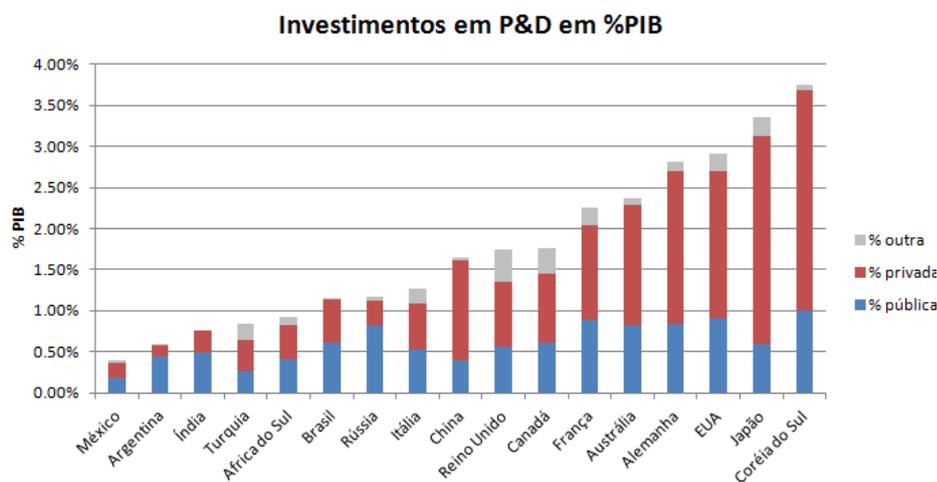
No âmbito estadual, as Fundações de Amparo à Pesquisa (FAPs), que estão presentes em todos os estados brasileiros, exceto Roraima, realizam a função de agentes de incentivo à ciência e tecnologia, e estão ligadas aos respectivos governos estaduais. Dessa, forma,

exercem papel significativo nas definições da política científico-tecnológica (MENEZES, 2001).

Somando o esforço estadual e nacional, o Brasil, ao longo dos últimos anos, vem liderando o quadro de produção científica da América Latina, com uma representação superior a 50% do total de artigos publicados (FAPESP, 2011).

De acordo com o relatório divulgado pela Unesco (2010), o país, que está colocado em décimo terceiro lugar do ranking de produção de ciência do mundo, é responsável por, aproximadamente, 2,7% de toda publicação mundial, investindo em torno de 1,2% de seu Produto Interno Bruto (PIB) em pesquisa e desenvolvimento.

No contexto empresarial, a inovação das empresas está diretamente ligada na formação de pesquisadores para desenvolverem novos procedimentos e tecnologias para a área. Pode-se observar no indicador apresentado na Figura 1 que o setor privado, o empresarial, detém uma maior porcentagem de investimentos em P&D na maior parte dos países analisados, se comparado ao setor público, o que já não ocorre no Brasil.



**Figura 1:** Investimentos em P&D em percentual do PIB.  
Fonte: UNESCO (2010).

O relatório ainda evidencia o fato de que em 2009, o Brasil registrou somente cento e três patentes, enquanto outros países como a Índia e a Rússia, por exemplo, registraram seiscentos e setenta e nove, e, cento e noventa e seis patentes, respectivamente. Isso mostra que, apesar de os indicadores evidenciarem o ótimo desempenho relativo do país em relação à produção científica e ao seu crescimento ao longo dos últimos anos, os resultados provenientes da conversão de toda essa pesquisa em um concreto desenvolvimento tecnológico e na propriedade intelectual estão longe de alcançar um patamar desejável para que o país garanta uma condição de geração de riqueza interna e competitividade no cenário internacional.

Levando em consideração que são os pesquisadores e cientistas que mergulham na ciência e produzem tecnologia e inovação, fica clara a necessidade do aumento de investimentos na área, e da conscientização da sociedade sobre importância da pesquisa e dos resultados que a mesma gera para o desenvolvimento do país e da própria sociedade como um todo. O Brasil detém apenas 0,5 pesquisadores por 1000 habitantes, enquanto em alguns países do Hemisfério Norte, que ainda possuem uma quantidade de habitantes bem menor que o Brasil, esse número é muito superior (ODCE, 2008).

Segundo Borges (2016), o próximo desafio do Brasil é, não somente aumentar os investimentos na produção científica, mas também elaborar estratégias para combater a distorção do trinômio Ciência-Tecnologia-Inovação, aumentando a conversão da ciência em propriedade intelectual.

## 2.1. FUNDAÇÕES DE AMPARO À PESQUISA

As Fundações de Amparo à Pesquisa (FAPs) são entidades ligadas aos respectivos governos estaduais que viabilizam recursos com o objetivo de desenvolver a pesquisa no âmbito científico e tecnológico. Elas fazem parte do Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia, em parceria com os órgãos nacionais de fomento à pesquisa, como o CNPq e a Finep (MENEZES, 2001).

Estabelecida em 1962, a primeira FAPs criada no país foi a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo (Fapesp). As demais fundações foram surgindo, gradativamente, ao longo dos anos seguintes de acordo com a necessidade, capacidade e interesse de cada estado.

Em 2006, foi inaugurado o Conselho Nacional das Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (Confap) com o intuito de formar uma associação, sem fins lucrativos, para promover uma melhor articulação e apoio aos interesses e ações das FAPs. Atualmente, o Conselho é constituído pelas fundações de todos os estados, mais o Distrito Federal, com exceção do estado de Roraima (CONFAP, 2016).

## 3. APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

O Apoio à Decisão Multicritério consiste em uma metodologia formal e cientificamente fundamentada que busca uma decisão sólida baseada em uma explicação matemática e avaliação conjunta de todos os aspectos do problema (BEIM; LÉVESQUE, 2003). 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 (BANA; COSTA, 1993).

Apesar do caráter científico, a metodologia multicritério é, ao mesmo tempo, subjetiva, uma vez que na maior parte das situações é somente o decisor quem escolhe as alternativas e critérios, sendo esses, mesmo atuando com racionalidade, conseqüentemente, de acordo com seus interesses. Com a capacidade de agregar todos os quesitos considerados importantes, inclusive os qualitativos, possibilita a transparência e a sistematização do processo referente aos problemas de tomada de decisão (GOMES *et al.*, 2011).

Bouyssou (1993) afirma que uma das principais vantagens dessa abordagem é a capacidade incorporar incertezas aos dados do problema, constituído por inúmeros critérios e informações conflitantes. Vale também ressaltar que todos os critérios relevantes para estruturar e desenvolver a metodologia podem ser aplicados em sua forma original, não existindo a necessidade de transformá-los em termos monetários.

O Apoio Multicritério à Decisão, como o próprio nome já indica, é um meio desenvolvido para somente apoiar o processo de decisão, indicando ao decisor um *ranking* de recomendações de melhores alternativas para resolver sua problemática, o que diverge do conceito de se obter uma única solução ótima (GOMES, L.; GOMES, C., 2012).

### 3.1. MÉTODO TODIM

Desenvolvido por Gomes e Lima (1992a, b), no início da década de noventa, o método Todim (Tomada de Decisão Interativa e Multicritério) é um método multicritério híbrido discreto utilizado para resolver problemáticas de ordenação. Fundamentado na Teoria dos

Prospectos (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979), descreve decisões entre alternativas que envolvem riscos e modelagens de escolhas da realidade, em detrimento de decisões ótimas. Por ser baseado em uma teoria psicológica, modela padrões de preferência dos decisores em presença de risco, utilizando funções de valor para explicar a aversão e a propensão ao risco na tomada de decisão (RANGEL; GOMES, 2007).

O ponto de partida para o desenvolvimento do modelo matemático consiste na seleção de um conjunto de  $n$  alternativas e  $m$  critérios, quantitativos e/ou qualitativos. A matriz de constantes de escala dos critérios (matriz inicial) é determinada a partir da comparação par a par entre os mesmos, dispendo-se como base da Escala Fundamental de Saaty (1980).

Uma vez atribuídas as constantes de escala aos critérios e realizada a normalização desta matriz, faz-se necessário calcular as matrizes parciais de dominância e a matriz final de dominância. O critério de referência  $r$  é, então, indicado como base para os cálculos matemáticos, de acordo com a importância relativa atribuída a cada critério. A medida de dominância de cada alternativa  $A_i$  sobre cada alternativa  $A_j$ , incorporada à Teoria dos Prospectos, é dada pela Equação (1) (GOMES; RANGEL, 2009). As Equações (2) (3) e (4) apresentam as contribuições parciais no cálculo da matriz de dominância.

$$\delta(A_i, A_j) = \sum_{c=1}^m \Phi_c(A_i, A_j) \quad \forall (i, j). \quad (1)$$

Quando:

$$\Phi_c(A_i, A_j) = \begin{cases} \sqrt{\frac{w_{rc}(P_{ic} - P_{jc})}{\sum_{c=1}^m w_{rc}}} & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) > 0, \\ 0 & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) = 0, \\ \frac{-1}{\theta} \sqrt{\frac{(\sum_{c=1}^m w_{rc})(P_{jc} - P_{ic})}{w_{rc}}} & \text{se } (P_{ic} - P_{jc}) < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Onde,

$\delta(A_i, A_j)$ : representa a medida de dominância da alternativa  $A_i$  sobre a alternativa  $A_j$ ;

$m$ : número de critérios;

$c$ : critério genérico que varia de  $1, \dots, m$ ;

$w_{rc}$ : constante de escala do critério  $c$  dividido pela constante do critério referencial  $r$ ; traduz todos os pares de diferenças entre as medidas de desempenho na mesma dimensão, tendo  $r$  como base.

$P_{ic}$ : desempenho da alternativa  $A_i$  em relação a  $c$ ;

$P_{jc}$ : desempenho da alternativa  $A_j$  em relação a  $c$ ;

$\theta$ : fator de atenuação das perdas; diferentes escolhas de  $\theta$  levam à diferentes formas da função de valor no quadrante negativo;

$\Phi_c(A_i, A_j)$ : representa a parcela da contribuição do critério  $c$  para a função  $\delta(A_i, A_j)$ , quando comparada a alternativa  $i$  com a alternativa  $j$ .

A construção da função  $\Phi_c(A_i, A_j)$  permite um ajuste dos dados do problema para a função de valor da Teoria dos Prospectos, explicando, assim, a aversão e a propensão ao risco. Função essa que traduz o comportamento de indivíduos frente ao risco, e possui como característica um formato em “S”.

Após o cálculo das matrizes parciais de dominância, uma para cada critério, a matriz final de dominância do elemento geral  $\delta(A_i, A_j)$  é obtida através da soma dos elementos das diversas matrizes parciais.

A Equação (5) é utilizada para determinar o valor total da alternativa  $i$  através da normalização das medidas de dominância correspondentes. A classificação de cada alternativa é originada da ordenação de seus respectivos valores.

$$\xi_i = \frac{\sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j)}{\max \sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j)} \quad (5)$$

Onde,

$\xi_i$ : desempenho global normalizado da alternativa  $A_i$ , quando comparado com as demais alternativas;

$n$ : número de alternativas.

Dessa forma, as medidas globais obtidas através da Eq. (5) permite a hierarquização completa de todas as alternativas do modelo. Por fim, a verificação da estabilidade dos resultados baseados nas preferências do decisor, ou decisores, é feita pela aplicação de uma análise de sensibilidade que deve ser realizada em  $\theta$ , nas constantes de escala dos critérios, na escolha do critério de referência, bem como nas avaliações de desempenho.

#### 4. DEFINIÇÃO DAS ALTERNATIVAS E CRITÉRIOS

As 29 alternativas a serem avaliadas neste modelo podem ser verificadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Alternativas do modelo

$A_1$	Capes	$A_{11}$	FAPEMIG	$A_{21}$	FAPESP
$A_2$	CNPq	$A_{12}$	FAPEPI	$A_{22}$	FAPESPA
$A_3$	FACEPE	$A_{13}$	FAPERGS	$A_{23}$	FAPESQ
$A_4$	FAPDF	$A_{14}$	FAPERJ	$A_{24}$	FAPPR
$A_5$	FAPEAL	$A_{15}$	FAPERN	$A_{25}$	FAPTO
$A_6$	FAPEAM	$A_{16}$	FAPERO	$A_{26}$	FINEP
$A_7$	FAPEAP	$A_{17}$	FAPES	$A_{27}$	FUNCAP
$A_8$	FAPEG	$A_{18}$	FAPESB	$A_{28}$	FUNDECT
$A_9$	FAPEMA	$A_{19}$	FAPESC	$A_{29}$	FAPAC
$A_{10}$	FAPEMAT	$A_{20}$	FAPITEC/SE		

A identificação dos critérios foi realizada junto a um grupo de especialistas para propor um grupo de critérios que possibilitariam uma análise global das alternativas. Após o levantamento destes critérios, foi realizada uma avaliação qualitativa dos mesmos, buscando abranger de forma holística os critérios de contribuição de cada órgão ao fomento de pesquisa no país. Por fim, foram consolidados seis critérios para a aplicação do modelo.

O Critério 1 - porcentagem de crescimento de bolsas entre o ano referencial de pesquisa e seu antecessor - avalia a taxa de crescimento do número de bolsas (exclusivas para a formação de recursos humanos) oferecidas entre o ano de pesquisa e o ano antecessor. Busca verificar se as alternativas do modelo estão em expansão ou retração, o que reflete na contribuição para o crescimento do fomento à pesquisa no país. Quanto maior a porcentagem alcançada, independente dos motivos pelo qual conseguiu atingir este valor, melhor a alternativa será avaliada. Os dados necessários para a formulação deste critério são o número de bolsas concedidas no ano base e o número do ano anterior, correlacionados através de uma análise percentual.

O Critério 2 - títulos de doutores obtidos por habitantes da unidade de federação – analisa, independentemente de quantas bolsas de doutorado foram disponibilizadas, quantas, efetivamente, atingiram a meta final, formar um doutor, e a sua correlação com a população “potencial” do estado ou país em que o órgão atua. Busca avaliar a sua “produtividade” no quesito formação. Sendo assim, quanto maior o valor da taxa, melhor avaliada será a alternativa. Para a estruturação deste critério, é necessária a identificação do número de doutores formados pelo órgão, no ano de 2014, e a população do estado de atuação do mesmo.

O Critério 3 - programas oferecidos - avalia a quantidade de programas de fomento que o órgão disponibilizou naquele respectivo ano, e não necessariamente todos os programas que possui em seu portfólio. Vale ressaltar que não são incluídos neste item os programas que oferecem bolsas para a formação de recursos humanos. Também são excluídos os programas que visam à manutenção institucional, bem como os voltados para a administração da fundação. Quanto maior o número de programas, maior a abrangência e o campo de atuação da alternativa, e, melhor avaliada ela é.

O Critério 4 - bolsas concedidas pela receita orçamentária - avalia quanto o órgão consegue produzir em bolsas pelo orçamento anual total, em reais, disponível para o ano base. Este dado é importante para avaliar alguns pontos-chaves como o custo de seu próprio financiamento, administrativo, por exemplo, e quanto ele consegue reverter em pesquisa e contribuição no fomento. Quanto maior o número de bolsas ofertadas pelo menor orçamento disponível melhor avaliado será o órgão. Sua formulação inicia-se pela identificação da quantidade de bolsas disponibilizadas e a receita total recebida pelo órgão no ano base.

O Critério 5 - cooperação com empresas - possibilita avaliar quantas parcerias com empresas o órgão foi capaz de realizar no ano base, mostrando a sua flexibilidade na busca de novas fontes de financiamento e a abrangência de suas linhas de pesquisas para temas aplicáveis no meio produtivo e que despertam o interesse das empresas. Este critério ressalta a importância da participação privada no desenvolvimento da tecnologia e inovação. Quanto maior o número de cooperações, melhor avaliado será o órgão. Os dados do critério são obtidos através da pesquisa do número de convênios e parcerias que o órgão realizou no ano base.

O Critério 6 - bolsas por número de servidores - busca avaliar a sua eficiência administrativa, ou melhor, quantas bolsas ele é capaz de disponibilizar por número de servidores, os quais são necessários para gerir, emitir editais e administrar o órgão e manter seu funcionamento diário. Quanto maior o resultado obtido, melhor avaliado é o órgão, pois indica que ele é capaz de gerir e proporcionar mais pesquisas com um menor número de funcionários, e consequentemente com um menor custo, e melhor eficiência administrativa. Os dados necessários para o modelo são a quantidade de bolsas disponibilizadas e o número de servidores empregados no órgão no mesmo ano base.

## 5. APLICAÇÃO NUMÉRICA

A definição da matriz de constantes de escala dos critérios, representada pela Tabela 2, com base na Escala Fundamental de Saaty (1980), é obtida através da comparação par a par entre os seis critérios definidos.

A diretriz utilizada para realizar esta comparação par a par é representada pelo resultado esperado da ordenação final, que pode ser traduzido pela resposta à seguinte pergunta: Qual órgão mais contribuiu para o fomento da pesquisa no Brasil, de acordo com sua produtividade e aproveitamento dos recursos?

Em seguida, uma normalização é realizada para obter a matriz final de constantes de escala dos critérios, também apresentada na Tabela 2, onde se pode identificar o critério  $C_4$  como o critério de referência  $r$ .

**Tabela 2:** Matriz de constantes de escala dos critérios.

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	Constante de escala final
$C_1$	1	2	3	0.5	2	2	0.21695
$C_2$	0.5	1	2	0.5	3	0.5	0.13383
$C_3$	0.33	0.5	1	0.2	0.25	0.33	0.05821
$C_4$	2	2	5	1	2	3	0.34583
$C_5$	0.5	0.33	4	0.5	1	0.5	0.10223
$C_6$	0.5	2	3	0.33	2	1	0.14295

A indicação da contribuição das alternativas, indicada na Tabela 3, para cada um dos seis critérios pertencentes ao modelo decorre de uma extensa coleta de dados, referentes ao ano de 2015, dos seguintes fatores: número de bolsas concedidas no país e no exterior; número de bolsas concedidas no país e no exterior em 2014 (com o objetivo de calcular a taxa de crescimento para o ano seguinte); número de programas oferecidos; valor da receita anual em reais (R\$); número de habitantes por unidade federativa; número de habitantes do país; quantidade de empresas que possuem acordos e projetos de cooperação com o órgão; e o número de servidores ativos.

As fontes de busca utilizadas para agrupar os dados foram os sites de cada órgão, relatórios de gestão, relatórios de atividades, o diário oficial dos respectivos estados, a imprensa escrita, e o portal de transparência dos órgãos e estados. Após a finalização da coleta de dados foram eliminadas as seguintes alternativas por falta de dados para implementação do modelo: Faperj (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro), Fapeap (Fundação de Amparo à Pesquisa do Amapá), Fapto (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Tocantins), Fapern (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte), e Fundect (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento de Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado do Mato Grosso do Sul). A Finep também foi desconsiderada devido ao fato de seu escopo não ser similar ao dos demais órgãos, uma vez que não financia bolsas, diretamente, às pessoas físicas, somente às instituições jurídicas e empresas.

Após a normalização da Tabela 3, os dados são manipulados através das equações explicitadas anteriormente, utilizando o fator de atenuação às perdas igual a 1, para o cálculo das parcelas da contribuição de cada critério quando comparada a alternativa  $i$  com a alternativa  $j$ , obtendo assim, as matrizes de dominância parciais (seis no total). As seis matrizes de dominância parciais são, então, aplicadas na Equação (1), que gera a matriz de dominância final.

**Tabela 3:** Matriz de contribuição das alternativas.

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$A_1$	0.824	0.083	56	0.020	107	331.620
$A_2$	0.998	0.044	30	0.032	263	183.369
$A_3$	1.202	0.072	10	0.041	14	28.800
$A_4$	1.255	0.164	19	0.005	43	12.358
$A_5$	1.216	0.010	6	0.068	13	7.791
$A_6$	1.140	0.017	31	0.060	26	152.000
$A_8$	1.070	0.040	9	0.015	18	10.857
$A_9$	1.345	0.004	12	0.031	11	28.020
$A_{10}$	1.334	0.018	9	0.015	19	12.657
$A_{11}$	0.977	0.077	13	0.020	11	26.378
$A_{12}$	1.066	0.009	7	0.047	12	19.526
$A_{13}$	0.901	0.140	12	0.054	50	40.365
$A_{16}$	1.233	0.002	4	0.014	0	8.730
$A_{17}$	0.936	0.034	8	0.087	13	33.932
$A_{18}$	1.210	0.029	8	0.143	7	34.865
$A_{19}$	1.530	0.084	18	0.007	49	6.921
$A_{20}$	1.156	0.033	8	0.023	8	12.179
$A_{21}$	0.983	0.138	18	0.005	301	21.394
$A_{22}$	0.977	0.026	9	0.013	15	12.438
$A_{24}$	0.892	0.087	7	0.056	63	100.290
$A_{27}$	1.126	0.045	10	0.053	12	49.794
$A_{29}$	1.214	0.000	2	0.149	0	7.800

Por fim, a matriz é normalizada de acordo com a Equação (5) apresentada pelo método Todim, que resulta nos valores individuais da medida global de cada alternativa avaliada pelo modelo.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma vez obtidos os valores da medida global, realiza-se a ordenação dos mesmos em ordem decrescente, obtendo, assim, a ordenação final do modelo, descrita na Tabela 4.

Destacando-se nas três primeiras posições, pode-se observar que a alternativa  $A_1$ , a Capes, obteve a melhor classificação, seguida pelo CNPq, em segundo lugar, e, a Fapesp, de São Paulo, em terceiro.

Previamente à aplicação numérica, o resultado esperado consistia nas melhores classificações para os órgãos nacionais de fomento, seguidos de todas as fundações dos estados do Sudeste pelo simples fato de ser a região mais economicamente desenvolvida do país. De fato, a Capes e o CNPq conquistaram a primeira e a segunda posição, respectivamente. Por atuarem em âmbito nacional, esses dois órgãos apresentam os maiores números de servidores, fator considerado desfavorável para o Critério 6. Apesar disso, os mesmos oferecem um elevado número de bolsas para a formação de recursos humanos, superando todas as demais alternativas, não sendo assim, afetados por esse fator em potencial. Outro critério desfavorável a ambos os órgãos é o Critério 1, onde apresentam um crescimento negativo com relação à porcentagem de bolsas oferecidas. A Capes, por exemplo, é a alternativa que apresentou um maior decaimento na oferta de bolsas. Contudo, esses fatores não foram suficientes para impactar a ordenação final das alternativas.

**Tabela 4:** Ordenação final das alternativas.

Posição	Órgão	Medida Global	Região
1	CAPES	1.0000	Nacional
2	CNPq	0.9801	Nacional
3	FAPESP	0.8214	Sudeste
4	FAPEAM	0.8044	Norte
5	FAPERGS	0.7939	Sul
6	FAPDF	0.7243	Centro-oeste
7	FAPPR	0.7019	Sul
8	FAPESC	0.6524	Sul
9	FACEPE	0.6114	Nordeste
10	FUNCAP	0.5998	Nordeste
11	FAPESB	0.5506	Nordeste
12	FAPEMIG	0.5219	Sudeste
13	FAPES	0.4985	Sudeste
14	FAPEMA	0.4310	Nordeste
15	FAPEMAT	0.3766	Centro-oeste
16	FAPEG	0.3757	Centro-oeste
17	FAPITEC/SE	0.3159	Nordeste
18	FAPEAL	0.3002	Nordeste
19	FAPESPA	0.2964	Nordeste
20	FAPEPI	0.2917	Norte
21	FAPAC	0.1363	Norte
22	FAPERO	0.0000	Norte

Vale ressaltar que, ao levar em consideração diversos critérios conflitantes, e ainda baseados em uma avaliação subjetiva, onde é o decisor quem define os critérios, os resultados nem sempre são diretos e triviais. Essa ocorrência é comprovada pela classificação da Fapeam, pertencente à região Norte, logo após a Fapesp, cujo sucesso no fomento à pesquisa foi de grande importância no incentivo aos demais estados a batalharem pela criação de agências semelhantes.

A fundação do Amazonas tem seu principal destaque no Critério 6, critério de terceiro maior peso, ao indicar que o elevado número de bolsas oferecidos não demanda um alto número de servidores ativos para manter o funcionamento do órgão, refletindo em uma boa gestão e em uma produtividade superior aos demais em análise. Em complemento, a FAP se destaca no alto número de programas oferecidos, cuja quantidade ultrapassa o dobro da média das alternativas, somado à quinta posição na análise individual do critério de maior constante de escala, o  $C_4$ , bem como ao crescimento positivo da concessão de bolsas.

A classificação na ordenação final da Fapemig e da Fapes, na 12ª e na 13ª posições, respectivamente, indica que a ideia de que as fundações dos estados do Sudeste obteriam os melhores resultados é equivocada. Fundações como a Facepe, Fapesb e inclusive a Funcap superaram duas das três agências de fomento do Sudeste, a Fapemig e a Fapes, sendo que Minas Gerais é o terceiro maior contribuinte na produção nacional de riquezas do país. O órgão de fomento à pesquisa do estado de Minas Gerais apresentou uma das piores atribuições nos critérios  $C_1$  e  $C_4$ , considerados de maior importância no modelo, proporcionando uma retração na oferta de bolsas, bem como uma taxa de bolsas pela receita extremamente inferior à de outras fundações, consideradas como menos desenvolvidas. Visto isso, pode-se inferir

que os recursos disponibilizados pelo governo não são aproveitados e distribuídos da melhor maneira possível pela Fapemig.

Com relação a Fapes, apesar de contribuir com um número de bolsas elevado em comparação à sua baixa receita arrecadada, vinte e uma vezes menor que a usufruída pela Fapemig, teve um decaimento em 6% na quantidade de bolsas oferecidas, e, não investe em novos projetos, limitando-se abaixo da média das demais alternativas, apresentando, assim, um baixo desempenho no Critério 3.

Outra fundação que também deve ser destacada é a Facepe, na nona posição, colocada como a melhor fundação do estado do Nordeste, primordialmente devido ao seu bom desempenho na formação de doutores e ao crescimento na oferta de bolsas entre os anos de 2014 e 2015.

Nas últimas colocações encontram-se a Fapac e a Fapero, na 21<sup>a</sup> e 22<sup>a</sup> posições, respectivamente. Em ambos os casos, por serem fundações relativamente novas, com apenas quatro e cinco anos de atuação, pode-se deduzir que, provavelmente, ainda não houve tempo hábil para se desenvolverem e apresentarem um número significativo de programas oferecidos. Dessa forma, neste quesito, limitam-se a um mínimo necessário. O mesmo se aplica ao critério C<sub>5</sub>, visto que nenhuma das duas fundações apresentam engajamento em projetos com empresas. Com relação ao critério que considera o número de títulos de doutores obtidos, a fundação de Rondônia contou com apenas três títulos, mostrando que ainda não possui um relevante público de interesse representativo. Por outro lado, a fundação do Acre, devido à existência de desigualdades sociais, econômicas e históricas entre a unidade de federação e os demais estados, abriu sua primeira turma de doutorado somente no ano de 2014 (LIRA, 2014), ou seja, não contabilizou nenhum título de doutor no ano considerado no modelo.

## 6.1. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Esta pesquisa sugere a verificação da variabilidade dos resultados perante a alteração dos valores das constantes de escala atribuídos aos critérios, bem como a alteração do fator de atenuação a perdas.

A análise de sensibilidade concentrada na alteração das constantes de escala dos critérios para verificar a sensibilidade do sistema decisório, é realizada de duas maneiras.

O Cenário A é definido pela atribuição de um maior valor ao critério de referência, estabelecido previamente, com um aumento em 10%. Já o Cenário B é definido pela redução do valor inicial relativo ao critério de referência também em 10%. Ambos os resultados são explícitos na Tabela 5.

A partir da nova ordenação obtida, é possível constatar que não houve alguma alteração no resultado, quando comparado ao resultado inicial. Analisando os valores globais, pode-se perceber que a diferença entre a medida global do resultado original e a medida global do Cenário A, tanto como a do Cenário B é insignificante para todas as alternativas analisadas, tratando-se de no máximo um centésimo.

No caso da análise de sensibilidade através da variação do fator de atenuação a perdas, o valor de teta foi modificado para  $\theta=3$ , e posteriormente, para  $\theta=5$ , cujos resultados são indicados na Tabela 6.

**Tabela 5:** Resultado comparativo – Cenário A e Cenário B.

Cenário A			Cenário B		
Posição	Alternativa	Medida Global	Posição	Alternativa	Medida Global
1	CAPES	1.0000	1	CAPES	1.0000
2	CNPq	0.9799	2	CNPq	0.9804
3	FAPESP	0.8240	3	FAPESP	0.8185
4	FAPEAM	0.8036	4	FAPEAM	0.8055
5	FAPERGS	0.7936	5	FAPERGS	0.7944
6	FAPDF	0.7276	6	FAPDF	0.7207
7	FAPPR	0.7008	7	FAPPR	0.7033
8	FAPESC	0.6554	8	FAPESC	0.6492
9	FACEPE	0.6120	9	FACEPE	0.6109
10	FUNCAP	0.5996	10	FUNCAP	0.6002
11	FAPESB	0.5495	11	FAPESB	0.5520
12	FAPEMIG	0.5236	12	FAPEMIG	0.5200
13	FAPES	0.4977	13	FAPES	0.4997
14	FAPEMA	0.4314	14	FAPEMA	0.4306
15	FAPEMAT	0.3782	15	FAPEMAT	0.3748
16	FAPEG	0.3776	16	FAPEG	0.3738
17	FAPITEC/SE	0.3168	17	FAPITEC/SE	0.3151
18	FAPEAL	0.2986	18	FAPEAL	0.3021
19	FAPESPA	0.2985	19	FAPESPA	0.2942
20	FAPEPI	0.2910	20	FAPEPI	0.2926
21	FAPAC	0.1332	21	FAPAC	0.1398
22	FAPERO	0.0000	22	FAPERO	0.0000

A partir da análise da Tabela 6, pode-se observar que a variação de  $\theta=1$  para  $\theta=3$  não acarretou alguma mudança significativa na classificação final das alternativas. A Fapesb obteve uma melhor classificação, saindo da 11ª para 9ª posição, e, o oposto aconteceu com a Facepe, decaiu da 9ª para a 11ª posição. Das alternativas restantes, 8 tiveram sua classificação final alterada em somente 1 posição, seja ela ascendente ou descendente, e, 12 órgãos não sofreram alterações sequer. A Capes, o CNPq, a Fapesp, a Fapeam e a Fapergs, nessa ordem, continuam constituindo o “top 5” da ordenação final, enquanto a Fapac e a Fapero se mantiveram como as duas piores fundações contribuintes no fomento à pesquisa no país.

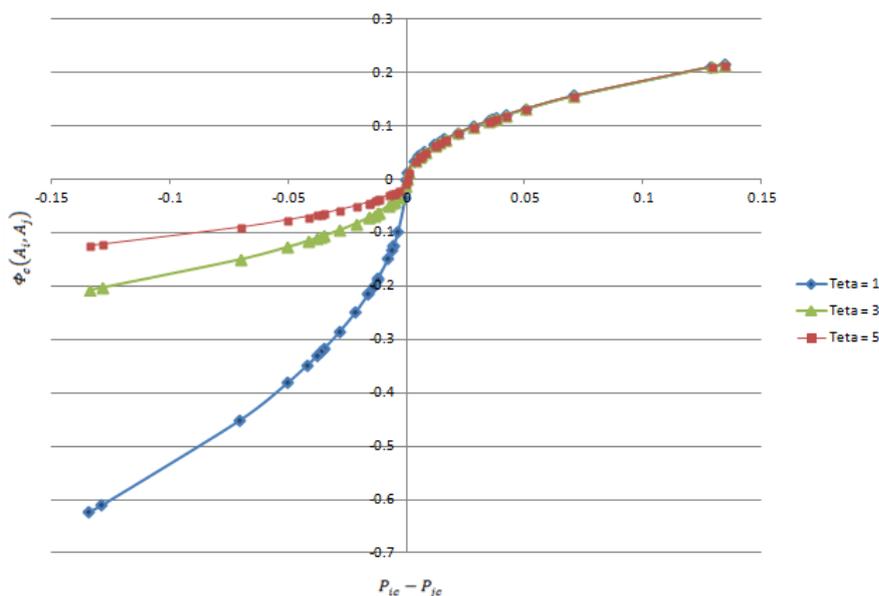
No caso da alteração do fator de atenuação para 5, é possível observar que não houve uma variação expressiva na ordenação final em relação ao resultado base com teta igual a 1. A Fapesb indicou uma alteração de 3 posições, da 11ª para a 8ª, a Facepe regrediu da 9ª para a 11ª, a Fapeg caiu 2 posições, a Fapitec/SE 3, enquanto a Fapeal obteve uma melhora de 3 posições. A fundação que resultou em uma variação notável foi a Fapac, subindo da 21ª posição na ordenação para a 17ª. As demais alternativas obtiveram uma inversão de posições de no máximo 1 unidade. Já os 5 primeiros e o último órgão da ordenação se mantiveram, novamente, estáveis e não expressaram qualquer tipo de variação.

**Tabela 6:** Resultados obtidos com a variação de  $\theta$ .

$\theta=5$			$\theta=3$		
Posição	Órgão	Medida Global	Posição	Órgão	Medida Global
1	CAPES	1.0000	1	CAPES	1.0000
2	CNPq	0.9496	2	CNPq	0.9607
3	FAPESP	0.7562	3	FAPESP	0.7799
4	FAPEAM	0.7448	4	FAPEAM	0.7665
5	FAPERGS	0.7030	5	FAPERGS	0.7361
6	FAPPR	0.6612	6	FAPESB	0.6760
7	FAPDF	0.6113	7	FAPPR	0.6524
8	FAPESB	0.5602	8	FAPDF	0.5813
9	FAPESC	0.5406	9	FACEPE	0.5567
10	FUNCAP	0.4976	10	FUNCAP	0.5348
11	FACEPE	0.4905	11	FAPESC	0.5345
12	FAPES	0.4492	12	FAPAC	0.4672
13	FAPEMIG	0.3876	13	FAPES	0.4365
14	FAPEMA	0.3398	14	FAPEMIG	0.3730
15	FAPEAL	0.2784	15	FAPEMA	0.3093
16	FAPEMAT	0.2708	16	FAPEAL	0.2979
17	FAPAC	0.2704	17	FAPEPI	0.2863
18	FAPEG	0.2533	18	FAPEMAT	0.2555
19	FAPEPI	0.2312	19	FAPITEC/SE	0.2532
20	FAPITEC/SE	0.2209	20	FAPEG	0.2230
21	FAPESPA	0.1809	21	FAPESPA	0.2216
22	FAPERO	0.0000	22	FAPERO	0.0000

O gráfico da Figura 2 explicita como as relações  $\Phi_c(A_i, A_j)$  e  $P_{i_c} - P_{j_c}$  se comportam perante diferentes variações de teta. Quando se varia o fator de atenuação a perdas referente a um critério em específico, neste caso o critério de bolsas concedidas pela receita orçamentária, critério de maior peso, nota-se que a curva no primeiro quadrante é a mesma para todas as variações de teta. Contudo, o terceiro quadrante do gráfico apresenta curvas distintas para os diferentes valores de  $\theta$ . Mostra que a alternativa  $i$  possui um valor menor em comparação à  $j$ , o que gera um valor de dominância parcial negativo, reduzindo a medida de dominância de  $i$  sobre  $j$ . Vale ressaltar que as curvas formadas são idênticas ao gráfico de Kahneman e Tversky (1979).

Na seção negativa do gráfico, a curva para  $\theta=1$  é representada pelo segmento da função mais próximo ao semieixo das ordenadas, e quanto maior a variação do fator de atenuação, mais sua respectiva curva se aproxima do semieixo das abscissas, o que pode ser observado quando  $\theta=5$ . Esta aproximação do semieixo das abscissas indica que quanto maior o valor de  $\theta$ , maior a aversão aos riscos, proporcionando assim, uma atenuação das perdas.



**Figura 2:** Relação entre  $\Phi_c(A_i, A_j)$  e  $P_{ic} - P_{jc}$  na variação de teta no critério referencial.

A análise de sensibilidade do fator de atenuação confirmou que mesmo com o aumento da aversão aos riscos, as preferências resultantes da aplicação do método são mantidas inalteradas. O modelo apresentou um baixo grau de sensibilidade ao assegurar mudanças não significativas na ordenação final das alternativas estabelecidas, confirmando a consistência do mesmo.

## 7. CONCLUSÕES

De forma geral, o Brasil, quando comparado a outros países, apresenta uma significativa defasagem em relação à quantidade de recursos investidos, à quantidade de bolsas oferecidas, ao número de patentes registradas e, principalmente, à participação do setor privado no incentivo ao desenvolvimento da tecnologia e inovação.

Portanto, torna-se evidente a necessidade de realizar uma revisão ou até mesmo um replanejamento deste processo, focando em investimentos estratégicos para que o Brasil aumente sua produção intelectual e alcance um patamar competitivo entre os países desenvolvidos.

Tendo em vista o grande número de órgãos de fomento à pesquisa presentes no país, a aplicação do método multicritério Todim possibilitou a ordenação de 22 dos 29 órgãos selecionados. Sete instituições foram desconsideradas devido à falta de informações disponíveis nas fontes de busca dos dados. A falta de padronização e de documentos para a divulgação das informações relacionados às atividades de gestão anuais dos órgãos tornou o processo de coleta de dados uma atividade árdua e demorada.

Os resultados indicam que os órgãos que apresentaram a maior contribuição para o fomento à pesquisa no Brasil entre os anos de 2014 e 2015, foram a Capes, o CNPq e a Fapesp, nesta ordem respectivamente. A utilização da metodologia multicritério permitiu que os órgãos fossem avaliados por diversos critérios, selecionados pelo decisor, com foco na produtividade e no aproveitamento dos recursos financeiros e pessoais disponíveis para cada um deles.

Como sugestão para trabalhos futuros é sugerida a aplicação do modelo com a utilização de outros critérios como acordos com instituições internacionais, patentes criadas e

número de publicações em periódicos Qualis A1, bem como estender as análises a uma visão plurianual, desde o surgimento de cada órgão, por exemplo. Também pode ser realizada a aplicação de outro método multicritério para comparação de resultados.

## REFERÊNCIAS

**BANA E COSTA, C. A.** Convictions et aide a la decision, Newsletter of the European Working Group "Multicriteria Aid for Decisions", Série 2, n. 3, 1–3, 1993.

**BEIM, G.; LÉVESQUE, M.** An entrepreneurial opportunity for operations research: multiple criteria decision analysis in international market entry. In: EURO/INFORMS Joint International Conference, Istanbul, Turkey, 2003.

**BORGES, M. N.** Ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento do Brasil. Scientia Plena, v. 12, n. 8, 2016.

**BOUYSSOU, D.** Décision multicritère ou aide multicritère?. In: Bulletin du groupe de travail européen "Aide multicritère à la décision", série 2, n. 2, Printemps 93, 1993.

**CONFAP.** Apresentação, 2016. Disponível em: <<http://confap.org.br/news/apresentacao/>>. Acesso em: 10 de out. 2016.

**FAPESP.** Pesquisadores no Brasil publicam 56% dos artigos científicos originados na América Latina. Indicadores FAPESP de Ciência, Tecnologia e Inovação. Boletim n. 3, 2011.

**GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C.** Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão. 1ª Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

**GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.** Tomada de decisões gerencial: enfoque multicritério. 4ª Ed. Atlas, 2012.

**GOMES, L. F. A. M.; LIMA, M. M. P. P.** From modelling individual preferences to multicriteria ranking of discrete alternatives: a look at prospect theory and the additive difference model. Foundations of computing and decision sciences, v. 17, n. 3, p. 171-184, 1992a.

**GOMES, L. F. A. M.; LIMA, M. M. P. P.** Todim: Basic and applications to multicriteria ranking of projects with environmental impacts, Foundations of computing and decision sciences, v. 16, p. 113-127, 1992b.

**GOMES, L. F. A. M.; RANGEL, L. A. D.** An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties. European Journal of Operational Research, v. 193, p. 204-211, 2009.

**KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A.** Prospect theory: An analysis of decision under risk. Econometrica, v.47, p. 263-292, 1979.

**LIRA, D.** Depois de 50 anos de história, federal do Acre abre sua 1ª turma de doutorado. Último Segundo, iG São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://ultimosegundo.ig.com.br/educacao/2014-05-08/depois-de-50-anos-de-historia-federal-do-acre-abre-sua-1-turma-de-doutorado.html>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

**MCTI.** Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Agências federais de fomento à pesquisa apontam desafios para a inovação, 2015. Disponível em: <<http://www.mcti.gov.br/noticia>>. Acesso em: 16 de jul, 2016.

**MENEZES, E. T.; SANTOS, T. H.** Verbetes FAPs (Fundações de Amparo à Pesquisa). Dicionário Interativo da Educação Brasileira - Educabrazil. São Paulo: Midiamix, 2001. Disponível em: <<http://www.educabrazil.com.br/faps-fundacoes-de-amparo-a-pesquisa/>>. Acesso em: 08 de out. 2016.

**OCDE.** Organization for Economic Co-Operation and Development. OCDE database, 2008. Disponível em: <<http://stats.oecd.org/>>. Acesso em: 17 maio 2016.

**PILLING, S.** Agências de fomento à pesquisa no país. Metodologia do ensino Superior em Ciências Exatas, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2011.

**RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M.** Determinação do valor de referência do aluguel de imóveis residenciais empregando o método TODIM. Pesquisa Operacional, v.27, n. 2, Rio de Janeiro, 2007.

**SAATY, T. L.** The analytic hierarchy process. 1ª Ed. New York: McGraw-Hill, 1980.

**UNESCO.** Relatório Unesco sobre ciência 2010. O atual status da ciência em torno do mundo, 2010.