



**José Eduardo de Oliveira Trindade**

**Mensuração e Avaliação da Capacidade Inovativa de  
Micro, Pequenas e Médias Empresas: aplicação de  
métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Maria Fatima Ludovico de Almeida  
Co-Orientador: Prof. Reinaldo Castro Souza

Rio de Janeiro  
Novembro de 2016



**José Eduardo de Oliveira Trindade**

**Mensuração e Avaliação da Capacidade Inovativa de  
Micro, Pequenas e Médias Empresas: aplicação de  
métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof.<sup>a</sup> Maria Fatima Ludovico de Almeida**

Orientadora

Programa de Pós-Graduação em Metrologia – PUC-Rio

**Prof. Reinaldo Castro Souza**

Co-orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

**Prof. Waldir Jesus de Araújo Lobão**

Escola Nacional de Ciências Estatísticas – ENCE

**Prof. Rodrigo Flora Calili**

Programa de Pós-Graduação em Metrologia – PUC-Rio

**Prof. Daniel Ramos Louzada**

Programa de Pós-Graduação em Metrologia – PUC-Rio

**Prof. Márcio da Silveira Carvalho**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 04 de novembro de 2016

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e de seus orientadores.

### **José Eduardo de Oliveira Trindade**

Bacharel em Estatística pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas em 2008. Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação da PUC-Rio. Tecnologista em Informações Geográficas e Estatísticas do IBGE.

#### Ficha Catalográfica

Trindade, José Eduardo de Oliveira

Mensuração e Avaliação da Capacidade Inovativa de Micro, Pequenas e Médias Empresas: aplicação de métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão / José Eduardo de Oliveira Trindade; orientadora: Maria Fatima Ludovico de Almeida; co-orientador: Reinaldo Castro Souza. – Rio de Janeiro: PUC, 2016.

107 f.; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Centro Técnico Científico, Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação, 2016.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. Capacidade inovativa. 3. MPMEs. 4. Métodos multicritério de apoio à decisão. 5. Lógica *fuzzy*. 6. *Fuzzy* AHP-TOPSIS. I. Almeida, Maria Fatima Ludovico de. II. Souza, Reinaldo Castro. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Centro Técnico Científico. Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação. IV. Título.

CDD: 389.1

## Agradecimentos

Aos meus pais, Margarida da Silva de Oliveira e José Trindade, que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu concluísse mais esta etapa tão importante na minha vida.

À minha orientadora Professora Maria Fatima Ludovico de Almeida, pelo apoio, convívio, paciência, compreensão e, principalmente, amizade. Ao meu co-orientador Professor Reinaldo Castro Souza, que confiou em mim, me dando a oportunidade de ingressar no Mestrado do Pós-MQI, me apoiando desde então. Ambos estiveram sempre ao meu lado, dispostos a compartilhar conhecimentos e ensinamentos ao longo de todo o curso.

Aos professores da Comissão Examinadora pela disponibilidade e contribuições a esta pesquisa, indicando oportunidades de melhoria em tempo hábil de serem incorporadas à versão final.

Ao professor e coordenador do curso Carlos Roberto Hall Barbosa, pelas oportunidades concedidas por meio do aprendizado de aprimoramento nas defesas dos artigos em congressos internacionais.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação (Pós-MQI) e às funcionárias Márcia e Paula.

À PUC-Rio e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelos auxílios concedidos durante o mestrado.

Aos amigos do Pós-MQI, pelo incentivo e apoio constantes.

## Resumo

Trindade, José Eduardo de Oliveira; Almeida, Maria Fatima Ludovico de (Orientadora); Souza, Reinaldo Castro (Co-orientador). **Mensuração e avaliação da capacidade inovativa de micro, pequenas e médias empresas: aplicação de métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão.** Rio de Janeiro, 2016. 107 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Na perspectiva de estimular o aprimoramento do processo de gestão da inovação pelas micro, pequenas e médias empresas (MPMEs) brasileiras e contribuir para formulação ou revisão de políticas públicas de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) voltadas para esse segmento, a presente dissertação tem como objetivo geral propor um modelo para monitorar e avaliar a capacidade inovativa de MPMEs. A pesquisa pode ser considerada descritiva, metodológica e aplicada. A partir dos resultados da revisão bibliográfica e documental sobre os temas centrais da pesquisa, desenvolveu-se um modelo para mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs, com base na integração de dois métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão – *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) e *Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (FTOPSIS). Visando demonstrar a aplicabilidade desse modelo no contexto das MPMEs e explicitar seus diferenciais metodológicos em comparação a outros métodos de apoio à decisão, não combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*, realizou-se um estudo junto a 15 MPMEs participantes do Programa NAGI da PUC-Rio. Destacam-se como principais contribuições da pesquisa um modelo para mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs, que considera a complexidade, subjetividade e incerteza como características inerentes a essa atividade, e um conjunto de indicadores compostos associados às três dimensões de capacidade inovativa contempladas no modelo proposto.

## Palavras-chave

Metrologia; capacidade inovativa; MPMEs; métodos multicritério de apoio à decisão; lógica *fuzzy*; *fuzzy* AHP-TOPSIS.

## Abstract

Trindade, José Eduardo de Oliveira; Almeida, Maria Fatima Ludovico de (Advisor); Souza, Reinaldo Castro (Co-advisor). **Measurement and evaluation of innovative capacity of micro, small and medium enterprises: application of fuzzy multi-criteria methods for decision support.** Rio de Janeiro, 2016. 107 p. MSc. Dissertation – Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

From the perspective of stimulating the improvement of the process of innovation management by micro, small and medium enterprises (MSMEs) and contributing to the formulation or review of public policies concerning the area of Science, Technology and Innovation (CT&I), focusing on this segment, the aim of the dissertation is to propose a model to monitor and evaluate the innovative capacity of MSMEs. This research can be classified as descriptive, methodological and applied. From the bibliographic and documentary review on the central themes of the research, a model was developed to measure and evaluate the innovative capacity of MSMEs based on the integration of two fuzzy multi-criteria methods of decision support - Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) and Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS). Aiming to demonstrate the applicability of this model in the context of MSMEs and to explicit its methodological differentials in comparison to other methods for measuring the innovative capacity of enterprises, an empirical study with 15 MSMEs participants of the NAGI Program at PUC-Rio was carried out during the applied phase of this research. The main contributions are a model for measuring and evaluating the innovative capacity of MSMEs, which considers the complexity, subjectivity, and uncertainty as characteristics inherent to these activities, and a set of composed indicators associated with the three dimensions of the innovative capacity considered in the proposed model.

## Keywords

Metrology; innovative capacity; SMEs; multiple criteria decision-making methods; fuzzy logic; fuzzy AHP-TOPSIS.

# Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>12</b>
1.1 Definição do problema de pesquisa.....	14
1.2 Objetivos: geral e específicos.....	16
1.3 Motivação.....	16
1.4 Metodologia.....	18
1.4.1 Fase exploratória e descritiva.....	20
1.4.2 Fase de pesquisa aplicada.....	21
1.4.3 Fase conclusivo-propositiva.....	22
1.5 Estrutura da dissertação.....	22
<b>2. Mensuração da capacidade inovativa de empresas.....</b>	<b>24</b>
2.1 Conceitos básicos: inovação e capacidade inovativa (CI) de empresas.....	25
2.2 Sistemas de mensuração de capacidade inovativa (CI) e métodos adotados.....	27
2.3 Análise das abordagens de mensuração de CI na perspectiva das MPMEs.....	30
2.4 Estudos empíricos sobre mensuração da capacidade inovativa de MPMEs.....	32
2.5 Considerações finais sobre o capítulo.....	33
<b>3. Métodos multicritério de apoio à decisão aplicados à mensuração da CI de empresas.....</b>	<b>34</b>
3.1 Método analítico hierárquico (AHP).....	34
3.2 Técnica TOPSIS.....	36
3.3 Lógica <i>fuzzy</i> .....	36
3.4 Métodos multicritério <i>fuzzy</i> de apoio à decisão: FAHP e FTOPSIS.....	40
3.5 Considerações finais sobre o capítulo.....	41
<b>4. Modelo <i>Fuzzy</i> AHP-TOPSIS para a mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs.....</b>	<b>43</b>
4.1 Visão geral do modelo.....	43
4.2 Descrição da Fase I – <i>Fuzzy</i> AHP.....	45
4.2.1 Construção da hierarquia: definição de critérios e subcritérios.....	45

4.2.2 Cálculo das matrizes de comparação pareada <i>fuzzy</i> usando “ <i>triangular fuzzy numbers</i> ” (TFN).....	46
4.2.3 Análise de consistência das matrizes de comparação pareadas <i>fuzzy</i> pelo índice de consistência (IC).....	47
4.2.4 Obtenção dos pesos dos critérios e subcritérios de <i>fuzzy</i> AHP.....	48
4.3 Descrição da Fase II – <i>Fuzzy</i> TOPSIS.....	48
4.3.1 Criação de matrizes <i>fuzzy</i> de avaliação com uso do conjunto de termos linguísticos <i>fuzzy</i> .....	48
4.3.2 Determinação da solução ideal <i>fuzzy</i> positiva e negativa (FPIS e FNIS) e definição da distância para FPIS (D+) e para FNIS (D-).....	50
4.3.3 Determinação da proximidade relativa do valor ideal.....	51
4.4 Considerações finais do capítulo.....	51
<b>5. Validação do modelo: estudo empírico com empresas participantes do Programa NAGI PUC-Rio.....</b>	<b>52</b>
5.1 Contexto de aplicação: Programa NAGI-PUC-Rio.....	52
5.2 Coleta de dados junto a empresas participantes do Programa NAGI-PUC-Rio.....	54
5.3 Análise e formatação dos dados.....	56
5.4 Aplicação de métodos de apoio à decisão alternativos às práticas correntes.....	58
5.4.1 Resultados da aplicação do método AHP.....	59
5.4.2 Resultados da aplicação do método integrado AHP-TOPSIS .....	61
5.4.3 Resultados da aplicação do modelo <i>Fuzzy</i> AHP-TOPSIS.....	63
5.5 Análise comparativa dos métodos: diferenciais do modelo em relação às práticas correntes.....	75
5.6 Considerações finais do capítulo.....	77
<b>6. Conclusões e recomendações.....</b>	<b>79</b>
<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>83</b>
<b>Apêndice 1 – Instrumento de pesquisa.....</b>	<b>92</b>
<b>Anexo 1 – Método Analítico Hierárquico (AHP).....</b>	<b>96</b>
<b>Anexo 2 – Técnica para avaliar o desempenho de alternativas pela similaridade com a solução ideal (TOPSIS).....</b>	<b>104</b>
<b>Anexo 3 – Chamada Pública MCTI/FINEP.....</b>	<b>107</b>

## Lista de Figuras

Figura 1.1 - Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos.....	19
Figura 1.2 - Mapa conceitual da pesquisa.....	21
Figura 3.1 - Função de pertinência triangular.....	39
Figura 3.2 - Função de pertinência trapezoidal.....	39
Figura 3.3 - Função de pertinência gaussiana.....	39
Figura 3.4 - Função de pertinência <i>singleton</i> .....	39
Figura 4.1 - Modelo Fuzzy AHP-TOPSIS para a mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs.....	44
Figura 4.2 - Estrutura hierárquica de decisão do método <i>fuzzy</i> AHP.....	45
Figura 4.3 - Função de pertinência para valores linguísticos dos critérios e subcritérios.....	47
Figura 5.1 - Núcleos de Apoio à Gestão de Inovação (NAGI) no Brasil.....	53
Figura 5.2 - Estrutura hierárquica de decisão do objetivo “Medir a capacidade inovativa de MPMEs”.....	63
Figura 5.3 - <i>Ranking</i> final das MPMEs segundo o Índice de Capacidade Inovativa (ICI).....	70
Figura 5.4 - <i>Box-plot ranking</i> final do Índice de Capacidade Inovativa (ICI).....	70

## Lista de Quadros

Quadro 2.1 - Sistemas de mensuração de capacidade inovativa de empresas e métodos adotados.....	28
Quadro 2.2 - Critério de classificação do porte de empresas.....	30
Quadro 5.1 - Estrutura hierárquica do instrumento de pesquisa.....	55
Quadro 5.2 - Atividades econômicas das empresas que participaram do Programa NAGI-PUC-Rio.....	39
Quadro 5.3 - Função de pertinência gaussiana.....	39

## Lista de Tabelas

Tabela 4.1 - Termos linguísticos adotados e seus respectivos números <i>fuzzy</i> triangulares.....	46
Tabela 4.2 - Índice de consistência aleatória (IR).....	48
Tabela 4.3 - Termos triangulares <i>fuzzy</i> para comparação <i>fuzzy</i> pareada.....	49
Tabela 5.1 - Classes de atitudes das MPMEs em relação à gestão de P,D&I.....	57
Tabela 5.2 - Resultados preliminares da mensuração da capacidade inovativa (ICI) das MPMEs participantes do Programa NAGI-PUC-Rio em 2015.....	57

# 1 Introdução

Reconhecida como imperativa para o desenvolvimento econômico, aumento da competitividade de empresas de diferentes setores e promoção de importantes mudanças sociais, a inovação tem sido objeto de ampla gama de estudos (Schumpeter, 1985; Perez, 2004; OECD, 2009; 2010; UN, 2009). Em função da relevância do tema, o desenvolvimento de instrumentos que possibilitem a mensuração e avaliação da capacidade inovativa e do desempenho inovador de organizações e países também tem sido foco de atenção por parte de instituições internacionais, como a *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), e de muitos pesquisadores (Barney et al., 2001; Teece, Pisano e Shuen, 2002; Kleinknecht et al., 2002; Rose et al., 2009; Stone et al., 2008; Garcia-Muina e Navas-Lopez, 2007).

Nessa perspectiva, considera-se que a capacidade de determinar a escala de mensuração da capacidade inovativa das empresas é fundamental para a formulação e avaliação de políticas públicas de Ciência, Tecnologia & Inovação (CT&I) direcionadas para promover a inovação, estimular o crescimento econômico e o bem estar social (OECD, 2005; Barney et al., 2001; Teece; Pisano; Shuen, 2002; Kleinknecht et al., 2002; Freeman, 2004; Nelson e Winter, 1982; 2004).

Em geral, a quantificação da capacidade inovativa e desempenho inovador das empresas é concebida como um processo do tipo *input-transformação-output*, no qual a combinação de fatores produtivos de entrada podem gerar saídas inovadoras (Smith, 2005). Guan e Chen (2010) apresentam uma visão mais ampla para essa questão, incorporando métricas relacionadas a subprocessos internos, i.e., processos de gestão P&D a montante e a processos de comercialização a jusante.

De acordo com Jonker, Romijn e Szirmai (2006), as tentativas de determinar uma escala de mensuração da capacidade inovativa de empresas consideram

apenas parte do espectro e refletem a complexidade da diferenciação entre recursos, grau de esforço, capacidade inovativa e desempenho inovador.

Diante desse quadro, a OECD buscou reunir em um documento normativo – o Manual de Oslo – um conjunto de diretrizes para coleta e uso de dados sobre atividades inovativas da indústria e construção de indicadores de inovação (OECD, 2005). A sua terceira edição passou a incluir o campo da inovação não tecnológica e as ligações entre os diferentes tipos de inovação. Esse documento também inclui um anexo sobre a implementação de pesquisas sobre inovação em países em desenvolvimento.

De acordo com estudo recente de Chaudhry e Verma (2016), além do Manual de Oslo, muitos estudos propõem estruturas analíticas para medir a capacidade inovativa de empresas, que pode ser entendida como a melhoria contínua das capacidades globais e recursos que a empresa possui para explorar oportunidades de desenvolvimento de novos produtos (bens ou serviços), visando atender às necessidades do mercado e da sociedade (Szeto, 2000; Adams, Bessant e Phelps, 2006; Armbruster et al., 2008; Cetindamar et al., 2009; Doroodian et al., 2014).

Os resultados da revisão bibliográfica sobre mensuração e avaliação da capacidade inovativa, abrangendo o período de 1990 a 2016, revelaram que a maioria das abordagens propostas baseia-se na avaliação de uma multiplicidade de elementos, que conferem a esse tema mais complexidade do que a análise simples de alguns fatores isolados (Bell; Pavitt, 1993; Biggs; Shah; Srivastava, 1995; Leonard-Barton, 1998; Figueiredo, 2005; Jonker; Romijn; Szirmai, 2006; Koc e Ceylan, 2007; Rejeb et al., 2008; Unsal e Cetindamar, 2015). De fato, a avaliação da capacidade inovativa de uma empresa associa-se a uma hierarquia complexa, o que exige uma análise simultânea de múltiplos critérios quantitativos e qualitativos (Hwang e Yoon, 1981; Lawson e Samson, 2001; Guan et al., 2006; Wang et al., 2008; Zawislak, 2012).

Constatou-se também que os métodos multicritério de apoio à decisão têm sido os mais adotados, por constituírem uma alternativa adequada para a modelagem de problemas em que subjetividade, incerteza e ambiguidades estejam presentes. Dentre estes métodos, destacam-se: ELECTRE, *Analytical Hierarchy Process* - AHP; *Data Envelopment Analysis* - DEA; *Technique for Order of*

*Preference by Similarity to Ideal Solution- TOPSIS*. Esses métodos não são exigentes quanto a validações axiomáticas presentes em modelos de otimização, tornando possível a incorporação da subjetividade, incertezas e ambiguidades ao modelo de mensuração e avaliação da capacidade inovativa, aproximando-o mais da realidade. Além disso, aprofundam a realização de testes associados à análise de coerência, identificando e tratando ambiguidades e conflitos durante o processo de julgamento (Roy, 1990).

Particularmente, no contexto de micro, pequenas e médias empresas (MPMEs), reveste-se de fundamental importância o emprego de sistemas de mensuração, que levem em consideração as especificidades e desafios de empresas de menor porte, na perspectiva de subsidiar a elaboração de seus planos de inovação e a formulação ou revisão de políticas públicas voltadas para esse segmento. Destaca-se ainda que a adoção de boas práticas da gestão de inovação tem um papel relevante no crescimento e progresso dessas empresas, por gerar novas fontes de vantagens competitivas em relação a seus concorrentes e permitir a identificação de oportunidades de atuação em nichos de mercado ou em mercados externos.

Para fins da presente pesquisa, adota-se a classificação de MPMEs estabelecida pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae, 2008), como segue:

- Microempresa: na indústria, até 19 pessoas ocupadas; no comércio e serviços, até 09 pessoas ocupadas;
- Pequena empresa: na indústria, de 20 a 99 pessoas ocupadas; no comércio e serviços, de 10 a 49 pessoas ocupadas;
- Média empresa: na indústria, de 100 a 499 pessoas ocupadas; no comércio e serviços, de 50 a 99 pessoas ocupadas.

## 1.1

### **Definição do problema de pesquisa**

Considerando que:

- a complexidade, multidisciplinariedade e incerteza são características inerentes à mensuração da capacidade inovativa das empresas;

- as chamadas atividades inovativas são desenvolvidas em diversas estruturas e funções da empresa, nas operações básicas de manufatura, no controle de qualidade, nos mecanismos de capacitação e desenvolvimento de recursos humanos, nas atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), dentre outras;
- há dificuldade de dissociar recursos tangíveis de recursos intangíveis de uma determinada empresa;
- a capacidade inovativa pode ser compreendida como específica para cada atividade produtiva (Lu, Chen e Wang, 2007) e que padrões diferenciados dessa capacidade podem ser identificados (por setor de atividade da empresa, trajetória tecnológica ou porte);
- o caráter de acumulação de conhecimento e experiências permite pressupor a existência de estágios (desde o nível embrionário até maduro), pelos quais a capacidade inovativa de uma empresa evolui durante o seu ciclo de vida;
- os sistemas de mensuração e avaliação da capacidade inovativa de empresas, reportados na literatura especializada, são predominantemente voltados para grandes empresas e não levam em consideração especificidades de empreendimentos de menor porte;
- a necessidade de se dispor de sistemas de mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs também foi identificada em outros países, como França, Argentina e Chile (Boly et al., 2014; Sepulveda e Vasquez, 2014; Galvez et al., 2013);
- o conceito de capacidade inovativa pode ser visto como uma construção de segunda ordem, operacionalizada na forma de relações de conjuntos hierárquicos e com uma lógica de progressão em estágios; e
- os métodos multicritério de apoio à decisão têm sido os mais adotados para mensurar a capacidade inovativa das empresas, mas que ainda são poucos os estudos que relatam o uso de modelos e métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão com esse propósito (Ran e Wang, 2015; Lin et al., 2013; Zhu e Lei, 2012; Kong et al., 2008; e Wang et al., 2008);

Enuncia-se a seguinte questão principal da pesquisa:

“Em que medida a aplicação de métodos multicritério de apoio à decisão, combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*, poderá contribuir para o aumento da

efetividade e da agilidade nos processos de monitoramento e avaliação da capacidade inovativa de micro, pequenas e médias empresas?

## 1.2

### Objetivos: geral e específicos

Na perspectiva de gerar conhecimento para estimular o aprimoramento do processo de gestão da inovação pelas MPMEs brasileiras e contribuir para formulação ou revisão de políticas públicas de CT&I, essa dissertação tem como objetivo geral propor um modelo para monitorar e avaliar a capacidade inovativa de MPMEs, com o auxílio de métodos multicritério de apoio à decisão combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*.

Em termos específicos, a dissertação busca:

- Discutir a importância de se mensurar e avaliar a capacidade inovativa (CI) das empresas em geral e, em particular, das MPMEs;
- Identificar e analisar os modelos que vêm sendo adotados para mensurar e avaliar a capacidade inovativa de MPMEs;
- Desenvolver um modelo para a mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs, com base na integração de dois métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão – *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) e *Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (FTOPSIS);
- Demonstrar a aplicabilidade do modelo proposto, mediante o desenvolvimento de um estudo empírico junto a 15 MPMEs participantes do Programa ‘Núcleo de Apoio à Gestão de Inovação’ (NAGI) da PUC-Rio, que é coordenado pelo Instituto Gênesis;
- Explicitar os diferenciais metodológicos do modelo proposto em comparação com outros métodos de apoio à decisão, que não são combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*.

## 1.3

### Motivação

Os impactos técnicos e científicos desta pesquisa referem-se ao avanço do conhecimento teórico sobre modelos de mensuração da capacidade inovativa de MPMEs, com o auxílio de métodos multicritério de apoio à decisão combinados

com a teoria de conjuntos *fuzzy*. A partir da modelagem aqui apresentada, abrem-se inúmeras oportunidades de aplicação nos mais diversos setores e segmentos de atuação dessas empresas.

Como abordado anteriormente, os sistemas de mensuração e avaliação da capacidade inovativa de empresas, reportados na literatura especializada (1990-2016), são predominantemente voltados para grandes empresas e não levam em consideração especificidades de empreendimentos de menor porte (Ver Quadro 2.1). Os resultados da revisão bibliográfica indicaram ainda que os métodos multicritério de apoio à decisão têm sido os mais adotados, mas que ainda são poucos os estudos que relatam o uso de modelos e métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão com esse propósito.

Particularmente no contexto das MPMEs, os trabalhos que focalizam a mensuração da capacidade inovativa de empreendimentos de menor porte (Boly et al., 2014; Sepulveda e Vasquez, 2014; Galvez et al., 2013) empregam métodos multicritério de apoio à decisão, mas ainda não combinam métodos multicritério com a teoria de conjuntos *fuzzy*. Abre-se, portanto, um amplo campo para pesquisas futuras orientadas para o desenvolvimento e validação de modelos para mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs, com base na integração de métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão, tendo em vista o contexto de incerteza no qual se inserem essas empresas.

Além das lacunas identificadas na literatura e do potencial de aplicação dos resultados desta pesquisa, um dos fatores que influenciaram positivamente a escolha do tema da dissertação foi a oportunidade oferecida pelo Instituto Genesis da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) de validação do modelo conceitual aqui proposto junto a 15 MPMEs participantes de seu Programa “Núcleo de Apoio à Gestão da Inovação - NAGI”. O Instituto Gênesis foi um dos vencedores da Chamada Pública MCTI/Finep 11/2010<sup>1</sup> e focalizou sua estratégia de desenvolvimento em MPMEs localizadas no município do Rio de Janeiro.

---

<sup>1</sup> MCTI/FINEP. *Chamada Pública MCTI/Finep - Pró-Inova - Núcleos de Apoio à Gestão da Inovação - 11/2010*. Seleção Pública de Propostas visando à Estruturação e Operação de Núcleos de Apoio à Gestão da Inovação. Rio de Janeiro: MCTI/Finep, 2010.

No Brasil, de acordo com a Confederação Nacional do Comércio de Bens, Serviços e Turismo, em junho de 2016, as micro e pequenas empresas ativas representavam 91,9% do total de empresas ativas no Brasil, com o faturamento de anual de aproximadamente R\$ 842 milhões. Particularmente, no município do Rio de Janeiro esse segmento representavam 88,7% do total de empresas ativas, com um faturamento anual de cerca de R\$ 69,7 milhões. Esses dados indicam o grande potencial de aplicação dos resultados da presente pesquisa, tanto no contexto empresarial (MPMEs), quanto institucional (Sebrae, Anprotec, instituições de C&T e órgãos governamentais, como Finep, por exemplo).

O ferramental aqui proposto poderá apoiar os atuais processos decisórios referentes às estratégias de inovação das MPMEs de forma mais efetiva, conferindo diferenciais à adequação à tomada de decisão sob incerteza. Acredita-se que os benefícios de seu emprego possam ser percebidos e experimentados, tanto pelas MPMEs interessadas em aprimorar seus processos de gestão da inovação, na perspectiva de fortalecer sua capacidade inovativa, quanto pelo Serviço Brasileiro de Apoio às (Sebrae), interessado em disseminar boas práticas de gestão no âmbito das MPMEs brasileiras.

Os resultados desta pesquisa poderão ainda contribuir para a resolução de problemas empíricos enfrentados por gestores públicos responsáveis pela formulação, revisão e implantação de políticas de CT&I, ao tornar disponível um modelo de monitoramento e avaliação da capacidade inovativa especialmente desenhado para as MPMEs.

Finalmente, os gestores de parques tecnológicos e de ambientes de inovação, especialmente os associados da Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores (Anprotec), poderão aprimorar suas atuais práticas de monitoramento e avaliação da capacidade inovadora das empresas residentes e incubadas com o uso de métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão, como abordado nesta dissertação.

#### **1.4 Metodologia**

Conforme a taxonomia proposta por Vergara (2002; 2005), a pesquisa pode ser considerada aplicada, descritiva e metodológica (quanto aos fins).

Quanto aos meios de investigação, a metodologia compreende:

- Pesquisa bibliográfica e documental sobre os temas centrais da pesquisa, como indicado na fase exploratória e descritiva da Figura 1.1;
- Desenvolvimento de um modelo para mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs, integração de dois métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão – FAHP e FTOPSIS;
- Desenvolvimento de um estudo empírico junto a 15 MPMEs participantes do Programa NAGI da PUC-Rio, visando demonstrar a aplicabilidade desse modelo;
- Análise comparativa dos resultados obtidos no estudo empírico com aqueles gerados pela aplicação de outros métodos de apoio à decisão, que não são combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*;
- Proposição de indicadores e métricas para mensurar e avaliar a capacidade inovativa de MPMEs, associados às três dimensões contempladas no modelo proposto.

A Figura 1.1 apresenta o desenho da pesquisa, destacando-se seus componentes e métodos, de acordo com três fases principais: (i) exploratória; (ii) pesquisa aplicada; e (iii) conclusivo-propositiva.

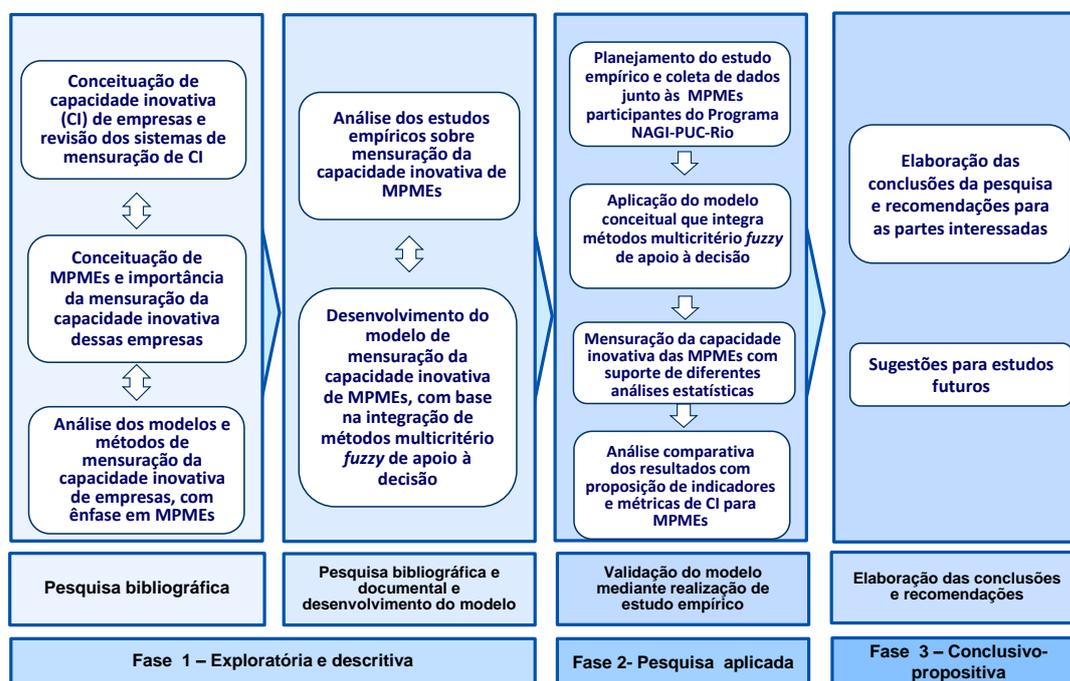


Figura 1.1 - Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos

Fonte: Elaboração própria.

Detalham-se, a seguir, o desenvolvimento de cada fase e os resultados esperados em cada bloco da Figura 1.1. Destaca-se que o desenho da pesquisa foi

desenvolvido em total alinhamento com os objetivos enunciados na seção 1.2 deste capítulo.

#### 1.4.1

##### **Fase exploratória e descritiva**

A fase exploratória e descritiva foi iniciada com pesquisa bibliográfica e documental, com o objetivo de levantar trabalhos conceituais e documentos de referência para delimitação do tema central da pesquisa – mensuração e avaliação da capacidade inovativa de empresas. Em seguida, aprofundou-se a revisão bibliográfica cobrindo o período de 1990 a 2016, buscando identificar estudos empíricos sobre esse tema, focalizando-se os métodos de apoio à decisão que estavam sendo adotados com esse propósito e os objetos de análise (se MPMEs, ou empresas em geral).

A partir da constatação de que os métodos multicritério de apoio à decisão eram os mais adotados (ELECTRE, AHP; DEA; TOPSIS, dentre outros), pesquisou-se se os estudos voltados para as MPMEs estavam adotando métodos multicritério combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*. Identificou-se, assim, uma lacuna na literatura que foi explorada nas etapas de modelagem da presente pesquisa e de validação empírica do modelo.

O referencial teórico constituiu uma orientação conceitual para a pesquisa, ao compor o vocabulário especializado e organizar o conhecimento sobre mensuração e avaliação da capacidade inovativa em conceitos estruturados. Particularmente, a construção do marco teórico fundamentou a seleção e definição das dimensões, temas e práticas que deveriam ser incluídas no modelo conceitual orientado para MPMEs.

Além disso, contribui de maneira significativa para a discussão sobre a importância da mensuração e avaliação da capacidade inovativa das empresas em geral e em particular das MPMEs, segundo uma abordagem estruturada e alinhada aos conceitos básicos apresentados no Manual de Oslo (OCDE, 2005) e no Manual da Pesquisa de Inovação Pintec 2011, publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013).

Apresenta-se na Figura 1.2 uma visão geral e esquemática dos resultados desta primeira fase, no formato de uma mapa conceitual.

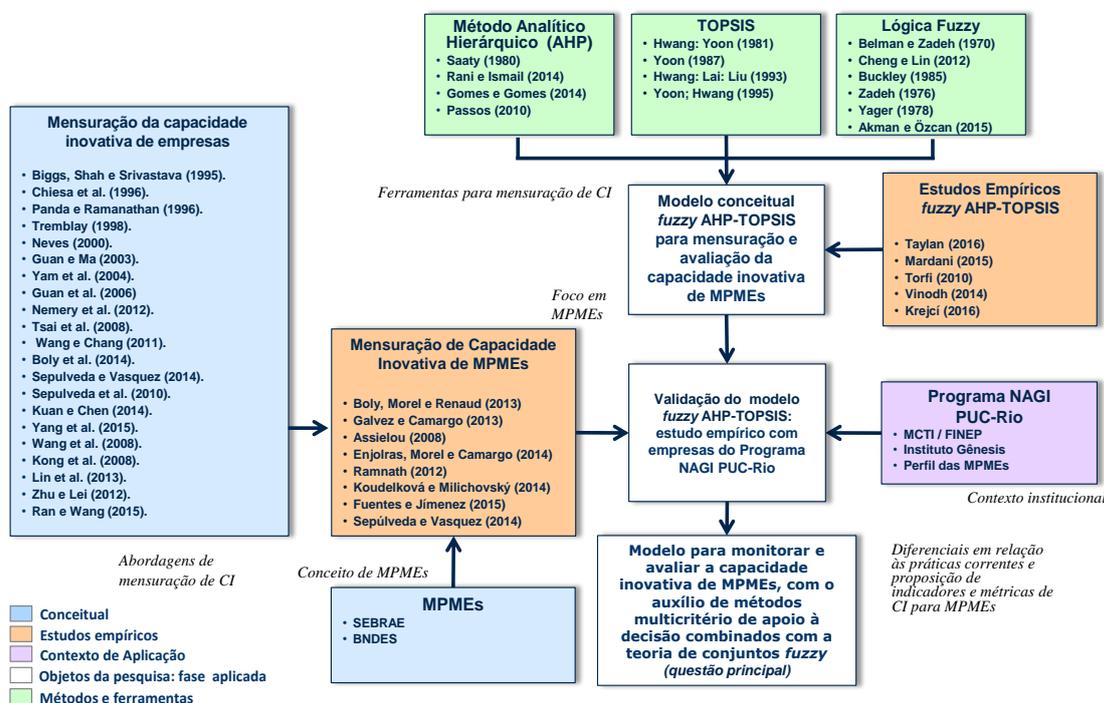


Figura 1.2 – Mapa conceitual da pesquisa

Fonte: Elaboração própria.

#### 1.4.2 Fase de pesquisa aplicada

Desenvolveu-se a fase da pesquisa aplicada propriamente dita, a partir dos resultados da revisão bibliográfica e documental que nortearam a definição dos objetivos da pesquisa e o desenvolvimento do modelo para mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs, combinando-se métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão.

Nesta segunda fase, realizaram-se as seguintes etapas: (i) planejamento do estudo empírico e coleta de dados junto a 15 MPMEs participantes do Programa NAGI-PUC-Rio; (ii) aplicação do modelo proposto, que integra métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão; (iii) mensuração e avaliação da capacidade inovativa das 15 MPMEs, com suporte de diferentes métodos (FAHP-FTOPSIS; AHP; AHP-TOPSIS; e média aritmética); (iv) análise comparativa dos resultados com proposição de indicadores e métricas de capacidade inovativa para MPMEs;

e (v) conclusões da fase aplicada. Esta parte da metodologia será abordada mais detalhadamente no capítulo 5 desta dissertação.

### **1.4.3 Fase conclusivo-propositiva**

Na terceira fase, elaboraram-se a conclusão geral e as específicas em relação a cada um dos objetivos enunciados na seção 1.2, enfatizando-se os benefícios desta pesquisa para as partes interessadas, a saber: (i) MPMEs, especialmente as empresas diretamente envolvidas no desenvolvimento do estudo empírico; e (ii) atores institucionais, como o Sebrae, instituições de ensino superior e pesquisa, a Finep, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, a Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores (Anprotec), para citar alguns exemplos. Propostas de estudos futuros, como desdobramentos naturais da presente pesquisa, também foram formuladas nesta fase conclusivo-propositiva.

## **1.5 Estrutura da dissertação**

Essa dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos, incluindo esta introdução.

No capítulo 2, descrevem-se as abordagens de mensuração e avaliação da capacidade inovativa de empresas em geral, discutindo-se a importância de se dispor de sistemas e modelos de mensuração capazes de avaliar o grau de maturidade das empresas em relação às boas práticas de gestão da inovação e sua capacidade para inovar. Na perspectiva das MPMEs, analisam-se estudos empíricos sobre esse tema, buscando-se identificar os métodos de apoio à decisão que vem sendo adotados para construção de indicadores e métricas de capacidade inovativa.

No capítulo 3, abordam-se os métodos multicritério de apoio à decisão para a mensuração e avaliação da capacidade inovativa de empresas, em geral. Destacam-se os métodos ELECTRE, AHP; DEA; TOPSIS, lógica *fuzzy* e a combinação de alguns desses métodos.

O capítulo 4 apresenta o modelo desenvolvido para a mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs, baseado na integração de métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão. Esse modelo compreende sete etapas,

agrupadas em duas fases: (i) fase *fuzzy* AHP, na qual se definem os pesos para os critérios e subcritérios para mensuração da capacidade inovativa de MPMEs; e (ii) fase *fuzzy* TOPSIS, na qual se hierarquizam as MPMEs, pela sua capacidade inovativa.

No capítulo 5, relatam-se e discutem-se os resultados do estudo empírico realizado junto a 15 MPMEs participantes do Programa NAGI da PUC-Rio, demonstrando-se o potencial de aplicação do modelo proposto. Comparam-se os resultados obtidos no estudo empírico com aqueles gerados pela aplicação de métodos de apoio à decisão, que não são combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*. Responde-se, nesse capítulo, à questão principal da pesquisa – “Em que medida a aplicação de métodos multicritério de apoio à decisão, combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*, poderá contribuir para o aumento da efetividade e da agilidade nos processos de monitoramento e avaliação da capacidade inovativa de micro, pequenas e médias empresas?”

Finalmente, no capítulo 6, formulam-se as conclusões e endereçam-se propostas para estudos futuros, como desdobramentos naturais e aprofundamento de aspectos relevantes que emergiram da presente pesquisa.

## 2

### Mensuração da capacidade inovativa de empresas

Neste capítulo, descrevem-se as abordagens de mensuração e avaliação da capacidade inovativa de empresas em geral, discutindo-se a importância de se dispor de sistemas e modelos de mensuração capazes de avaliar o grau de maturidade das empresas em relação às boas práticas de gestão da inovação e sua capacidade para inovar. Na perspectiva das MPMEs, analisam-se estudos empíricos sobre esse tema, buscando-se identificar os métodos de apoio à decisão que vem sendo adotados para construção de indicadores e métricas de capacidade inovativa.

Considera-se que a capacidade de determinar a escala de mensuração da capacidade inovativa das MPMEs é fundamental para a formulação e avaliação de políticas públicas de Ciência, Tecnologia & Inovação (CT&I) direcionadas para promover a inovação nesse contexto, estimular o crescimento econômico e o bem estar social (OECD, 2005; Barney et al., 2001; Teece; Pisano; Shuen, 2002; Kleinknecht et al., 2002; Freeman, 2004; Nelson e Winter, 1982; 2004).

Hoje em dia, com a competitividade do ambiente de negócios e os desafios enfrentados pelas MPMEs no Brasil, torna-se cada vez mais importante e necessário construir indicadores e respectivas métricas que sejam úteis e compreensíveis para a avaliação da capacidade inovativa (CI) dessas empresas.

Em geral, a quantificação da capacidade inovativa e desempenho inovador das empresas é concebida como um processo do tipo *input-transformação-output*, no qual a combinação de fatores produtivos de entrada podem gerar saídas inovadoras (Smith, 2005). Guan e Chen (2010) apresentam uma visão mais ampla para essa questão, incorporando métricas relacionadas a subprocessos internos, i.e., processos de gestão P&D a montante e a processos de comercialização a jusante.

De acordo com Jonker, Romijn e Szirmai (2006), as tentativas de determinar uma escala de mensuração da capacidade inovativa de empresas consideram

apenas parte do espectro e refletem a complexidade da diferenciação entre recursos, grau de esforço, capacidade inovativa e desempenho inovador.

Segundo Rejeb et al. (2008), mensuração é definida como uma operação que permite a determinação do valor de uma variável, por meio de várias características e do comportamento dessa variável. Além da abordagem matemática, a mensuração requer conhecimentos relacionados com as instituições e as práticas sociais (Vuola e Hameri, 2006). Nesse sentido, Rejeb et al. (2008) argumentam que a mensuração da capacidade inovativa está relacionada a um conjunto de competências, conhecimentos, adoção de ferramentas de gestão e uso eficiente de recursos financeiros e humanos.

## 2.1

### **Conceitos básicos: inovação e capacidade inovativa (CI) de empresas**

O tema inovação tem sido objeto de ampla gama de estudos (Schumpeter, 1985; Perez, 2004; OECD, 2009; 2010; UN, 2009). Particularmente, o desenvolvimento de instrumentos de mensuração e avaliação da capacidade inovativa e do desempenho inovador de organizações e países também tem sido foco de atenção por parte de instituições internacionais, como a *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), e de muitos pesquisadores (Barney et al., 2001; Teece, Pisano e Shuen, 2002; Kleinknecht et al., 2002; Rose et al., 2009; Stone et al., 2008; Garcia-Muina e Navas-Lopez, 2007).

Para fins da presente dissertação, adotam-se os conceitos e a definição de inovação apresentados no Manual de Oslo, considerado referência internacional para a construção de indicadores de CT&I (OECD, 2005). O Manual de Oslo, em seu capítulo 2, retoma as necessidades dos formuladores de políticas públicas e de gestores de empresas em termos de coleta de dados e mensuração propriamente dita, visando reduzir a incerteza nos processos de avaliação da capacidade inovativa das empresas e dos impactos de suas inovações.

Segundo a OECD (2005, p.55), inovação é definida como "a implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas".

As atividades de inovação são etapas científicas, tecnológicas, organizacionais, financeiras e comerciais que conduzem, ou visam conduzir, à implementação de inovações. Algumas atividades de inovação são em si inovadoras, outras não são atividades novas mas são necessárias para a implementação de inovações. As atividades de inovação também inserem a P&D que não está diretamente relacionada ao desenvolvimento de uma inovação específica OECD (2005, p.56).

Adler e Shenbar (1990) definem a capacidade inovativa de uma empresa como: (i) a capacidade de desenvolvimento de novos produtos que satisfaçam as necessidades do mercado; (ii) a capacidade de aplicação de tecnologias de processo apropriadas para produzir estes novos produtos; (iii) a capacidade de desenvolvimento e adoção de novas tecnologias de produtos e de processamento para satisfazer as necessidades futuras; e (iv) a capacidade de responder a atividades tecnológicas acidentais e inesperadas oportunidades criadas pelos concorrentes.

Na visão de Kogut e Zander (1992), capacidade inovativa de uma empresa pode ser expressa pela sua capacidade de mobilizar os conhecimentos, seus colaboradores e combiná-los para criar novos conhecimentos, resultando em produtos ou processos de inovação.

De acordo com Romijn e Albaladejo (2002), a capacidade de inovação de uma empresa refere-se ao conhecimento organizacional e outras competências que são necessárias para melhorar os produtos e processos atuais e desenvolver novos produtos.

Szeto (2000) refere-se à capacidade de inovação como a melhoria contínua dos recursos e capacidades organizacionais, a fim de explorar as oportunidades de desenvolvimento de novos produtos que atendam às necessidades do mercado.

Para Neely et al. (2001), a capacidade de inovação é o potencial da empresa em gerar resultados da inovação, incorporados na cultura da empresa, processos e capacidades para compreender o ambiente.

Akman e Yilmaz (2008) consideram que a capacidade inovativa é um importante fator que fortalece uma cultura organizacional voltada para inovação, característica de promoção interna de atividades e capacidades de compreensão e de responder apropriadamente ao ambiente externo.

Wang e Ahmed (2004), por sua vez, definem a capacidade inovativa como a capacidade da empresa de desenvolver novos produtos ou negócios, alinhando orientação estratégica a comportamentos inovadores e processos de gestão de PD&I.

## 2.2

### **Sistemas de mensuração da capacidade inovativa (CI) e métodos adotados**

Os resultados da revisão bibliográfica sobre mensuração da capacidade inovativa, abrangendo o período de 1990 a 2016, revelaram que a maioria das abordagens propostas se baseia na avaliação de uma multiplicidade de elementos, que conferem a esse tema mais complexidade do que a análise simples de alguns fatores isolados (Bell; Pavitt, 1995; Biggs; Shah; Srivastava, 1995; Leonard-Barton, 1998; Figueiredo, 2005; Jonker; Romijn; Szirmai, 2006; Koc e Ceylan, 2007; Rejeb et al., 2008; Unsal e Cetindamar, 2015). De fato, a avaliação da capacidade inovativa de uma empresa associa-se a uma hierarquia complexa, o que exige uma análise simultânea de múltiplos critérios quantitativos e qualitativos (Hwang e Yoon, 1981; Lawson e Samson, 2001; Guan et al., 2006; Wang et al., 2008; Zawislak, 2012).

A mensuração da capacidade inovativa e a construção de indicadores e métricas têm sido abordadas em diversos artigos científicos e estudos de empresas de consultoria internacionais. Como exemplos, podem ser citados os estudos globais apresentados pela Pricewaterhouse Coopers (PwC), McKinsey & Company e pela *The Business R&D and Innovation Survey*, nos Estados Unidos, pela *Community Innovation Survey* (CIS), aplicada na Comunidade Europeia, e por outras instituições como os estudos da *National Endowment for Science, Technology and the Arts* (NESTA), que têm por objetivo pesquisar a capacidade de inovação das empresas no Reino Unido.

De acordo com Wang e Ahmed (2004), a medição da capacidade inovativa através de um construto multidimensional é mais confiável, do que se for adotado um conceito genérico ou apenas algumas das dimensões deste construto. De acordo com o artigo recente de revisão publicado por Chaudhry e Verma (2016), além do Manual de Oslo, outros documentos de referência propõem estruturas analíticas para medir a capacidade inovativa de empresas, que pode ser entendida

como a melhoria contínua das capacidades globais e recursos que a empresa possui para explorar oportunidades de desenvolvimento de novos produtos (bens ou serviços), visando atender às necessidades do mercado e da sociedade (Szeto, 2000; Adams, Bessant e Phelps, 2006; Armbruster et al., 2008; Cetindamar et al., 2009; Doroodian et al., 2014).

O Quadro 2.1, a seguir, sintetiza as principais características dos sistemas de mensuração da capacidade inovativa de empresas e respectivos métodos.

Quadro 2.1 – Sistemas de mensuração de capacidade inovativa de empresas e métodos adotados

<b>Autores</b>	<b>Dimensões / variáveis</b>	<b>Métodos adotados</b>
Biggs, Shah e Srivastava (1995).	Mecanismos de aprendizagem; esforços tecnológicos; capacidade tecnológica; e indicador de produtividade total.	Análise isolada de indicadores estabelecidos para dimensão.
Chiesa et al. (1996).	Geração de conceito; processo de inovação; desenvolvimento de produtos; aquisição de tecnologia; liderança; gestão de recursos; e sistemas e ferramentas de gestão.	Perfil descritivo de fatores.
Panda e Ramanathan (1996).	Capacidades estratégicas (criação, desenho e engenharia); capacidades táticas (produção, <i>marketing</i> e comercialização); capacidades suplementares (aquisição e suporte); e capacidade de liderança.	Auditoria com base em matriz de indicadores definidos segundo escala em três níveis (alto, médio e baixo).
Tremblay (1998).	Motivação e comprometimento para mudança; liderança; relacionamentos; processos de tomada de decisão; canais de comunicação; fluxo de informação; interação; tipo de hierarquia; flexibilidade organizacional; atitude gerencial.	Estudo descritivo comparativo de casos com base nas variáveis.
Neves (2000).	Qualificação de recursos humanos; controle da produção; e desenvolvimento de tecnologias.	Índice formado pela soma dos escores de 1 a 5 referentes às variáveis 'controle da produção' e 'desenvolvimento de tecnologias'.
Guan e Ma (2003).	Capacidade de aprendizagem; capacidade P&D; alocação de recursos; capacidade produtiva; <i>marketing</i> ; governança e organização; e planejamento estratégico.	Critérios avaliados subjetivamente pelas empresas, usando escala de sete pontos, e cálculo de média para cada tipo de capacidade.
Yam et al. (2004).	Capacidade de aprendizagem; capacidade de pesquisa e desenvolvimento (P&D); alocação de recursos; capacidade produtiva; <i>marketing</i> ; governança e organização; e planejamento estratégico.	Identificação paramétrica (regressão linear múltipla).
Guan et al. (2006).	Aprendizagem; P&D; processos de produção; <i>marketing</i> ; organização; e recursos.	<i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA) Modelo insumo-produto.
Wang et al. (2008).	Capacidade de P&D (4 critérios); capacidade de decisão para inovação (4 critérios); capacidade de <i>marketing</i> (4 critérios); capacidade produtiva (4 critérios); capacidade de capital (4 critérios).	Integral <i>fuzzy</i> não-aditiva

Quadro 2.1 – Sistemas de mensuração de capacidade inovativa de empresas e métodos adotados (cont.)

Autores	Dimensões / variáveis	Métodos adotados
Kong et al. (2008).	Habilidade de gerenciamento de recursos para inovação (inputs); capacidade de P&D; capacidade produtiva; capacidade de marketing; habilidade para gerar inovações (outputs)	<i>Analytical Network Process</i> (ANP) para definição dos pesos dos critérios integrado ao método 'Fuzzy Multicriteria Optimization and Compromise Solution' (sigla em sérvio VIKOR), para mensuração da capacidade inovativa.
Tsai et al. (2008); Wang e Chang (2011).	Inovação tecnológica (tecnologia de produto e processo - TPP); e inovação não tecnológica (estratégia, criatividade, <i>marketing</i> e organização).	<i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP)
Nemery et al. (2012).	Seis meta-práticas.	Integral Choquet.
Zhu e Lei (2012)	Capacidade de P&D; liderança para inovação; capacidade de <i>marketing</i> ; capacidade produtiva; capacidade de investimento.	Método híbrido <i>fuzzy</i> AHP.
Lin et al. (2013).	Planejamento estratégico; <i>marketing</i> ; infraestrutura para inovação; conhecimento formal e habilidades; domínio de tecnologias de informação e comunicação (TIC); relacionamento com o ambiente externo; capacidade produtiva.	Método multicritério <i>fuzzy</i> de apoio à decisão (MCDA- <i>fuzzy</i> ).
Boly et al. (2014); Sepulveda e Vasquez (2014); Sepulveda et al. (2010).	<i>Design</i> ; gestão de projetos; estratégia integrada; gestão de portfólio de projetos; organização adequada; melhoria de inovação de processo; gestão de competências; suporte moral; gestão do conhecimento; inteligência competitiva e tecnológica; gestão de networking; aprendizagem coletiva; ideação e criatividade; atividades de P&D; <i>Customer Relationship Management</i> (CRM).	Teste de valores e abordagem multicritério.
Kuan e Chen (2014).	Capacidade de gerenciamento de recursos para inovação (4 critérios); habilidade de aprendizagem sobre inovação tecnológica (4 critérios); habilidade de implementar inovação tecnológica (4 critérios); habilidade para gerar inovação tecnológica (4 critérios); capacidade de gerenciamento de projetos de inovação (4 critérios).	Método híbrido multi-critério, combinando 'Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory' (DEMATEL), 'Analytical Network Process' (ANP) e VIKOR.
Yang et al. (2015).	Quatro macrodimensões: produto, organização, processo e conhecimento.	AHP integrado à avaliação do coeficiente de variação, baseado no método dos quadrados mínimos,
Ran e Wang (2015).	Capacidade de P&D; capacidade de decisão para inovação capacidade de <i>marketing</i> ; capacidade produtiva; capacidade de investimento.	Método híbrido <i>fuzzy</i> combinando 'Grey relational analysis' (GRA) e 'Technique for order performance by similarity to ideal solution' (TOPSIS).

Fontes: Boly et al. (2014); De Mori et al. (2014); resultados de consulta sistemática em bases de dados realizada em julho de 2016.

No Quadro 2.1, observa-se que métodos multicritério de apoio à decisão são adotados pelos diversos autores, com o objetivo de mensurar a capacidade inovativa das empresas. No entanto, são poucos os estudos que relatam o uso de métodos multicritério de apoio à decisão combinados com a lógica dos conjuntos *fuzzy* (Ran e Wang, 2015; Lin et al., 2013; Zhu e Lei, 2012; Kong et al., 2008; e Wang et al., 2008).

### 2.3

#### **Análise das abordagens de mensuração da CI na perspectiva das MPMEs**

Antes de iniciar a discussão sobre abordagens de mensuração de CI na perspectiva das MPMEs, faz-se necessária a apresentação da definição dessas empresas no contexto brasileiro. A Lei Geral das Micro e Empresas de Pequeno Porte foi instituída em 2006 e é baseada no critério de Receita Bruta Anual. De acordo com o *site* Observatório da Lei Geral (<http://www.leigeral.com.br/>), a Lei Geral considera como Microempresa e Empresa de Pequeno Porte a sociedade empresária ou simples, a empresa individual de responsabilidade limitada e o empresário com receita bruta anual de até R\$ 360.000,00 (microempresa), ou entre R\$ 360.000,01 e R\$ 3.600.000,00 (empresa de pequeno porte). Outra alternativa amplamente difundida é dada pelo critério de classificação do porte de empresas por pessoas ocupadas, estabelecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pelo Serviço Brasileiro de Apoio a Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), tal como ilustrado no Quadro 2.2 a seguir:

Quadro 2.2 – Critério de classificação do porte de empresas

Porte	Atividades econômicas	
	Serviços e comércio	Indústria
Microempresa	Até 9 pessoas ocupadas	Até 19 pessoas ocupadas
Pequena empresa	De 10 a 49 pessoas ocupadas	De 20 a 99 pessoas ocupadas
Média empresa	De 50 a 99 pessoas ocupadas	De 100 a 499 pessoas ocupadas
Grande empresa	Acima de 100 pessoas ocupadas	Acima de 500 pessoas ocupadas

Fonte: Sebrae, 2014.

No contexto de MPMEs, Zatezalo e Gray (2000) afirmam que as pequenas organizações são mais inovadoras do que as maiores, embora a sua

implementação de inovações possa ser mais lenta, devido à falta de recursos. Proprietários de pequenas empresas são, muitas vezes, empresários que tomam a iniciativa e correm os riscos.

Para Akman e Yilmaz (2008), as MPMEs têm uma função motriz para a economia e indústria dos países. Por isso, a importância das MPMEs para os países não pode ser discutida. Especificamente, as MPMEs são mais importantes para os países em desenvolvimento, pois são competitivas e sustentam o desenvolvimento econômico. Por essa razão, o nível tecnológico, a capacidade competitiva e a inovação potencial das MPMEs devem ser aumentados, e sua contribuição para a economia e sua eficácia deve ser melhorada.

Por outro lado, Jiménez e Fuentes (2015) ressaltam que é importante considerar que as MPMEs têm maiores limitações de recursos do que as grandes empresas e os seus sistemas de apoio administrativo para os processos de tomada de decisão são menos desenvolvidos. Dessa forma, MPMEs dependem mais das capacidades de gestão para alcançar resultados (Lubatkin et al., 2006). Além disso, o estudo de como os recursos de gerenciamento afetam o desempenho da inovação nas MPMEs poderá ser condicionado pela sua maior flexibilidade administrativa e a forte participação da equipe de alta gestão em todos os processos e atividades da empresa (Escribá-Esteve et al., 2009). Demonstrou-se que as culturas organizacionais mais orientadas para valores como a flexibilidade, criatividade, autonomia, ou a conexão com a organização incentivam positivamente inovações de produtos e processos (Naranjo-Valencia et al., 2012). Os estudos prévios como os de Kearney et al. (2014) sugerem que as capacidades de gestão das pequenas empresas sustentam o desenvolvimento de inovações, porque essas capacidades incentivam a interação e utilização de recursos, bem como o desenvolvimento de uma cultura que promove a colaboração entre trabalhadores e inovação.

Ademais, Jiménez e Fuentes (2015) afirmam que os resultados encontrados em sua pesquisa confirmam que a capacidade de gerenciamento tem uma influência diretamente positiva sobre o desempenho de inovação das MPMEs em setores de tecnologia. Esses resultados também mostram que as MPMEs dos setores de tecnologia com maiores capacidades de gestão obtêm melhores resultados em produtos e processos de inovação do que as empresas cujos gestores

se encontram em uma faixa de menores capacidades. Este resultado é relevante, porque muitos gestores nos setores de tecnologia têm perfis técnicos altamente qualificados, porém não têm as habilidades conceituais ou humanas que são igualmente valiosas para alcançar melhores resultados da investigação.

Vale ainda ressaltar o trabalho de Sepúlveda e Vasquez (2014), autores que consideram que a avaliação da capacidade de inovação de uma MPME é embasada na análise de diversas áreas de gestão de negócios ou dimensões, reconhecidas por terem um impacto positivo no alcance do desempenho inovador.

Além disso, os autores evidenciam que essas práticas podem ser variáveis quantitativas e qualitativas e incorporadas em um instrumento de medição. No entanto, as práticas e sua intensidade precisam de adaptação ao local e contexto regional devido a diferenças na cultura organizacional e às características do sistema nacional de inovação. Por fim, em seu estudo, Sepúlveda e Vasquez (2014) apontam que estas práticas incluem aspectos ou dimensões, tais como: planejamento de *design* de produto, acompanhamento do projeto de inovação, nível de participação estratégica, gerenciamento de portfólio, o controle da equipe e *feedback*, infra-estrutura, gestão baseada em competências, incentivos e apoio, aprendizado coletivo, gestão do conhecimento, vigilância tecnológica e inteligência de negócio, *networking*, e a participação dos trabalhadores em ideias inovadoras.

## 2.4

### **Estudos empíricos sobre mensuração da capacidade inovativa de MPMEs**

Como apontado anteriormente, muitos autores realizaram estudos objetivando comprovar empiricamente a aplicabilidade de seus modelos de mensuração da capacidade inovativa de MPMEs. Dentre esses autores, destacam-se os trabalhos de Akman e Yilmaz (2008), Jiménez e Fuentes (2015) e os de Boly, Morel, Assielou e Camargo (2014), Sepúlveda e Vasquez (2014), Rey (2014) e Rejeb et al. (2008).

Akman e Yilmaz (2008) estudaram MPMEs de *softwares* na Turquia, utilizando seis questões em sua pesquisa, com os seguintes fatores para mensurar a capacidade inovativa como: cultura organizacional; características dos processos internos (partilha de conhecimento e coordenação rápida de conhecimento,

empregadores incentivo sobre a inovação) e a capacidade do ambiente externo (adaptação a mudanças no ambiente externo, de modo a refletir as sugestões de inovação do ambiente para processos internos).

Jímenez e Fuentes (2015) realizaram uma análise empírica com MPMEs espanholas do setor de tecnologia, utilizando análise de regressão hierárquica e testes de hipóteses para avaliação de capacidade inovativa.

## 2.5 Considerações finais sobre o capítulo

Como abordado neste capítulo, a capacidade inovativa pode ser definida como uma variável que representa as habilidades internas da empresa em gerar, por meio de seus recursos, novos produtos e processos. Trata-se de uma variável multidimensional, que é composta por fatores determinantes para o processo de inovação.

Para o processo de mensuração da capacidade inovativa de empresas, ressalta-se a dificuldade de dissociar recursos tangíveis de recursos intangíveis, além da complexidade e incerteza, características inerentes a esse tipo de mensuração.

No Quadro 2.1, destacou-se o uso de métodos multicritério de apoio à decisão para mensurar a capacidade inovativa das empresas. Quanto à revisão dos estudos empíricos referentes à mensuração da capacidade inovativa de MPMEs, em particular, cabe destacar a linha de pesquisa de um grupo de professores da Universidade de Lorraine, na França. Citam-se os estudos de Boly, Morel, Assielou e Camargo (2014), Sepúlveda e Vasquez (2014), Rey (2014) e Rejeb et al. (2008).

Identificou-se que são poucos os estudos que relatam o uso de modelos e métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão (Ran e Wang, 2015; Lin et al., 2013; Zhu e Lei, 2012; Kong et al., 2008; e Wang et al., 2008). Particularmente, no contexto das MPMEs, não foi identificado nenhum artigo científico que focalizasse a mensuração da capacidade inovativa dessas empresas, abrindo-se assim uma janela de oportunidade para explorar na presente pesquisa a combinação de métodos multicritério com lógica *fuzzy* para a modelagem pretendida.

### 3

## Métodos multicritério de apoio à decisão aplicados à mensuração da CI de empresas

Abordam-se os principais métodos multicritério de apoio à decisão (MMAD) mencionados no Quadro 2.1 para a mensuração e avaliação da capacidade inovativa de empresas, em geral. Destacam-se os métodos ELECTRE, AHP; DEA; TOPSIS, lógica *fuzzy* e a combinação de alguns desses métodos.

Para fins desta dissertação, definem-se MMAD como “um conjunto de técnicas desenvolvidas para ajudar um decisor (seja ele caracterizado por uma pessoa, grupo político, grupo de técnicos, entre outros) a tomar uma decisão relacionada a um problema complexo, de difícil resolução e com diversas alternativas de solução, de acordo com determinados critérios” (Sousa Junior e Mendes, 2014, p. 2). Além disso, as técnicas devem ser capazes de tratar problemas eventualmente complexos de maneira simples, para que sejam úteis à tomada de decisão, sem que os gestores tenham que investir muito tempo e dinheiro para utilizá-los (Costa, 2006).

A seguir, descrevem-se os MMAD selecionados para a modelagem pretendida – *Analytical Hierarchy Process (AHP)* e *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*, os conceitos de conjuntos *fuzzy* e lógica *fuzzy*, que foram introduzidos por Lotfi Zadeh nas décadas de 1960 e 1970, bem como dois métodos integrados – *fuzzy AHP (FAHP)* e *fuzzy TOPSIS (FTOPSIS)*.

### 3.1

#### Método analítico hierárquico (AHP)

O método AHP é uma ferramenta de tomada de decisão amplamente utilizada para a determinação das prioridades entre os diferentes critérios e subcritérios. Foi introduzida e definida por Thomas Saaty (1980) como uma ferramenta eficaz para lidar com a tomada de decisão complexa e que pode ajudar o decisor a estabelecer prioridades e tomar a melhor decisão. Ao reduzir decisões

complexas a uma série de comparações pareadas e, depois, sintetizar os resultados, o método AHP ajuda a capturar ambos os aspectos subjetivos e objetivos de uma decisão. Além disso, AHP é uma técnica útil para verificar a consistência das avaliações do tomador de decisão, reduzindo, assim, o viés no processo de tomada de decisão.

Esse método considera um conjunto de critérios de avaliação e um conjunto de opções alternativas, entre as quais a melhor alternativa é a decisão a ser feita. É importante notar que, uma vez que alguns dos critérios poderiam ser conflitantes, a melhor opção comumente adotada é otimizar apenas um único critério. Em geral, esta não é uma verdade, ao invés disso, é necessário considerar a interdependência estabelecida entre os diferentes critérios.

Ele permite gerar pesos para cada critério de avaliação de acordo com comparações pareadas fornecidas pelos especialistas/juízes destes critérios. Isso é realizado com perguntas como: Qual dos dois critérios é o mais importante? Quanto este critério é mais importante que o outro? Ambas as perguntas serão respondidas através de uma escala de 1 a 9, proposta pelo próprio Saaty (1980).

Essas avaliações compõem a matriz de comparações pareadas, elaborada para cada critério e subcritério. Tais matrizes dão origem aos pesos, sendo quanto maior o peso, mais importante o critério correspondente. Em seguida, para cada critério e subcritério, o AHP aponta os pesos estabelecidos, segundo as comparações pareadas feitas pelos tomadores de decisão, baseada nos próprios critérios e subcritérios. Consequentemente, ao atribuir os pesos aos valores da alternativa, tem-se que, quanto maior o valor do resultado obtido, melhor o desempenho da alternativa com relação ao critério considerado. Finalmente, o AHP combina os pesos dos critérios às alternativas, determinando, assim, uma pontuação global para cada alternativa e, com esse resultado, fornece um *ranking*. O resultado global para uma determinada alternativa é a soma ponderada das pontuações obtidas em relação a todos os critérios.

O método AHP foi descrito em detalhe por Mello (2015) e encontra-se no Anexo 1 desta dissertação.

### 3.2 Técnica TOPSIS

A técnica TOPSIS permite classificar as empresas com base em seu desempenho geral, considerando o peso de importância e, no caso de CI, nível de maturidade, uma vez que pode identificar a melhor solução que está mais próxima à solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa.

Para Patil et al. (2014), TOPSIS é um dos clássicos métodos multicritério de tomada de decisão desenvolvido por Hwang e Yoon (1981). Baseia-se no conceito de que a alternativa escolhida deve ter a distância mais curta a partir da solução ideal positiva (PIS) e o mais distante a partir da solução ideal negativo (NIS).

Cheng e Lin (2012) apontaram que a lógica da técnica TOPSIS se destina a definir a solução ideal e a solução ideal negativa. Em resumo, a solução ideal consiste de todos os maiores atributos obtidos para os critérios, ao passo que a solução ideal negativa é composta por todos os piores valores obtidos para os critérios. A alternativa ideal é aquela que tem a distância mais curta a partir da solução ideal positiva e a maior distância a partir da solução ideal negativa, com base no conceito de grau de otimização de TOPSIS. Essas considerações fornecem o *ranking* das alternativas por parte do grupo de observação. Por TOPSIS ser um método amplamente conhecido entre os métodos clássicos, muitos investigadores o aplicaram para resolver problemas no passado.

Assim como o método AHP, Mello (2015) detalha a técnica TOPSIS apresentando seus processos e fórmulas de forma clara e objetiva. Tal técnica encontra-se no Anexo 2 desta dissertação.

### 3.3 Lógica *fuzzy*

Os conceitos de conjuntos *fuzzy* (ou nebulosos) e lógica *fuzzy* (ou nebulosa) foram introduzidos por Lotfi Zadeh nas décadas de 1960 e 1970. Desde então, a lógica *fuzzy* tem sido utilizada em várias aplicações. De acordo com Zadeh (1973), quando a complexidade do sistema aumenta, a capacidade dos seres humanos para descrever o comportamento do sistema diminui. Ele argumenta que os problemas complexos não podem ser traduzidos em números, mas sim em rótulos de conjuntos *fuzzy*.

Gomes e Gomes (2014, p. 53) apresentam a lógica *fuzzy* da seguinte forma:

“A teoria é uma extensão da lógica convencional (booleana), para introduzir o conceito de verdade não absoluta, e funciona como ferramenta para tratar imprecisões na linguagem natural. A matemática nebulosa é uma tentativa de aproximar a precisão característica da matemática à inerente imprecisão do mundo real. O número nebuloso não surge, normalmente de observações reais, mas de conceitos ou concepções mais ou menos conhecidos”.

Os conjuntos nebulosos (Wang, 1980) são uma forma de representar imprecisões encontradas, as quais os seres humanos tratam com grande habilidade, normalmente existentes em problemas reais, os quais os conjuntos tradicionais não podem representar adequadamente.

Para Yager (1977), a usabilidade de conjuntos *fuzzy* deriva do fato de que nós podemos representar ambos os modos, muito vagos ou objetivos *fuzzy*, bem como objetivos precisamente definidos. Ademais, nos permite lidar com objetivos que são muito subjetivos, assim como aqueles muito objetivos. Ainda segundo Yager (1977), deve ser enfatizado que os conjuntos *fuzzy* não eliminam a subjetividade, que é um fenômeno real humano, porém, na maioria das tomadas de decisão, o decisor estaria ciente da sua subjetividade. O que os conjuntos fazem é permitir manipular o fenômeno subjetivo.

Gomes e Gomes (2014) esclarecem que, na matemática clássica, um subconjunto  $U$  de um conjunto  $S$  aos elementos do conjunto  $[0, 1]$ .

$$U: S \rightarrow [0, 1]$$

Essa aplicação pode ser representada como um conjunto de pares ordenados; o primeiro é elemento de  $S$ , e o segundo é elemento do conjunto  $[0, 1]$ . Essa função é denominada função de pertinência. A função de pertinência é o fator caracterizador do conjunto nebuloso. Ela associa a um elemento do universo um número real do intervalo  $[0, 1]$ . O grau de pertinência 1 equivale ao clássico símbolo de pertencimento  $\in$ , e o grau de pertencimento 0 equivale ao símbolo  $\notin$  (Braga, Barreto e Soares, 1995).

A teoria dos conjuntos nebulosos indica com que grau cada elemento pertence ao conjunto. O valor 0, ou valor nulo, indica que não pertence, representa a “total não pertinência”; e o valor 1 indica “total pertinência”. Outro tipo de pertinência é dado pelos valores intermediários entre 0 e 1. Esses valores

representam os “graus de pertinência” – também interpretados como “grau de veracidade” – da afirmativa, ou seja, essa teoria transforma o conceito de Falso e Verdadeiro em números reais, no intervalo 0 a 1, em que 0 é Falso e 1, Verdadeiro (Kaufmann, 1975).

Apresentam-se, a seguir, os principais conceitos associados à lógica *fuzzy*, que serão adotados ao longo da dissertação.

### **Conjuntos *fuzzy***

Um conjunto *fuzzy*  $A$  em um universo  $X$  é definido por uma função de pertinência  $(x) \mu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$ , e representado por um conjunto de pares ordenados

$$A = \{\mu_A(x)/x\} \quad x \in X$$

Onde  $\mu_A(x)$  indica o quanto  $x$  é compatível com o conjunto  $A$ . Um determinado elemento pode pertencer a mais de um conjunto *fuzzy*, com diferentes graus de pertinência.

### **Variáveis linguísticas**

Uma variável linguística é uma variável cujos elementos são nomes de conjuntos *fuzzy*. Sua principal função é fornecer uma forma de caracterizar a complexidade dos fenômenos e falta de clareza. Esta permite o tratamento de sistemas mais complexos para serem analisados por meio de termos matemáticos tradicionais.

### **Funções de pertinência**

As funções de pertinência, comumente representada na literatura por  $\mu_A(x)$ , podem ter diferentes formas, dependendo do conceito que se deseja representar e do contexto em que serão utilizadas. De acordo com Gomes e Gomes (2014), a função de pertinência  $\mu_A(x)$ , onde  $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$ , está associada aos eventos  $x_i$ , em que  $i$  varia de 1 até  $n$ . Dessa forma, o conjunto nebuloso é representado também por  $A = \{\mu_A(x_i)/x_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Alguns exemplos padrões de funções de pertinência são apresentados nas Figuras 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4.

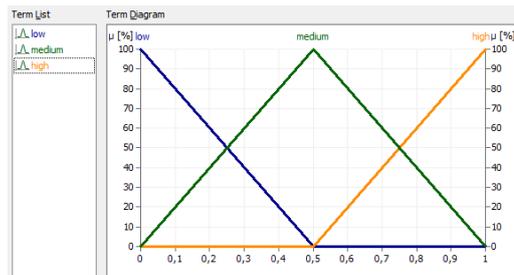


Figura 3.1 – Função de pertinência triangular

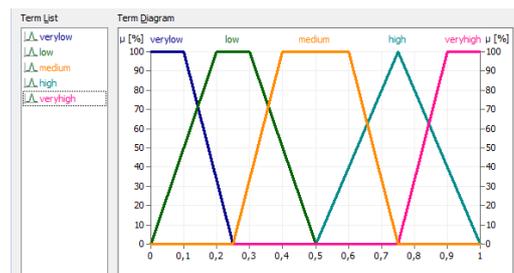


Figura 3.2 – Função de pertinência trapezoidal

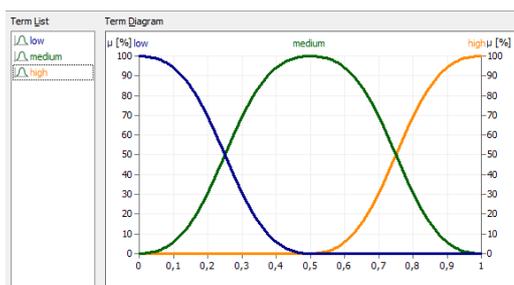


Figura 3.3 – Função de pertinência gaussiana

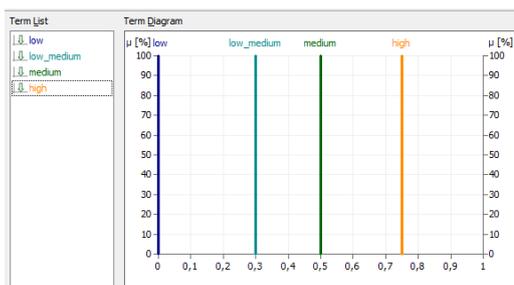


Figura 3.4 – Função de pertinência *singleton*

As funções citadas – triangular, trapezoidal, gaussiana e *singleton* (representação de apenas um ponto, ou *crisp*) – são as mais clássicas e trabalhadas por diversos autores.

### 3.4 Métodos integrados *fuzzy*: FAHP e FTOPSIS

O processo FAHP é uma extensão do método AHP criado originalmente por Saaty (1980). Ele combina o método AHP com a teoria de conjuntos *fuzzy*, para resolver problemas hierárquicos *fuzzy* (Taylan et al, 2016; Yang et al, 2015; Ekuobase e Olutayo, 2015; Vinodh et al, 2014; Patil e Kant, 2014; Zhu e Lei, 2012).

Ekuobase e Olutayo (2015) ressaltam que os decisores sentem maior confiança ao fazer julgamentos dentro de um intervalo de valores, ao invés de valores numéricos individuais. Na opinião desses autores, o método *fuzzy* AHP é capaz de capturar a avaliação vaga de um ser humano, quando os problemas de processos decisórios multicritério são considerados imprecisos ou vagos.

Torfi et al. (2010) apontaram que, nas formas primitivas dos métodos AHP e TOPSIS, as comparações dos especialistas sobre os critérios, subcritérios e alternativas são representados sob a forma de números exatos. No entanto, em muitos casos práticos, as preferências dos peritos são incertas e eles ficam relutantes ou incapazes de fazer comparações numéricas. A tomada de decisão por *fuzzy* é uma ferramenta poderosa à tomada de decisões em ambientes incertos, vagos e nebulosos. Os métodos clássicos de tomada de decisão trabalham apenas com dados exatos e comuns, de modo que não há lugar para os dados de incerteza e vagos. O ser humano tem uma boa habilidade para processar dados qualitativos, o que o ajuda a tomar decisões em ambientes nebulosos.

O passo-a-passo do FAHP pode ser resumido, da seguinte forma: (i) a construção do sistema de hierarquia de avaliação, para avaliar as alternativas, considerando os diferentes critérios e subcritérios envolvidos; (ii) as matrizes *fuzzy* de comparações pareadas usando 'números *fuzzy* triangulares' (TFN); (iii) a verificação de consistência dos resultados das matrizes de comparações pareadas; (iv) o peso para cada critério e subcritério é determinado. A ponderação é feita através da normalização das matrizes; (v) o valor do 'melhor desempenho não-*fuzzy*' (BNP) para cada peso é determinado; e (vi) os critérios e subcritérios são classificados com base nos valores de BNP. O critério com maior valor de BNP é o de maior impacto dentre os critérios considerados.

O segundo método – FTOPSIS – é uma ferramenta multicritério de tomada de decisão de classificação, que surge como uma alternativa para a etapa de classificação do método AHP (Cheng e Lin, 2012). Como mencionado anteriormente, o TOPSIS original foi desenvolvido por Hwang e Yoon (1981) e baseia-se no conceito de que a alternativa escolhida deve ter a distância mais curta a partir da solução ideal positiva (PIS) e o mais distante a partir da solução ideal negativo (NIS). O método FTOPSIS é uma variante do método TOPSIS. Seu processo pode ser resumido como: (i) obter os pesos dos critérios, possivelmente vindo do método FAHP, que leva em consideração os pesos de cada critério e subcritério; (ii) criar matrizes *fuzzy* de decisão, em que um conjunto de termos linguísticos nebulosos são utilizados para o cálculo dos resultados; (iii) normalizar matrizes *fuzzy* de decisão; (iv) determinar os pontos *fuzzy* positivo e negativo ideais. As soluções ideais *fuzzy* positivo (FPIS) e negativo (FNIS) são definidas por técnicas de compensação; (v) identificar a distância para FPIS (d+) e FNIS (d-); (vi) determinar a proximidade relativa do valor ideal e ordenar as alternativas, em relação a esta proximidade relativa encontrada.

Ademais, Choudary e Shankar (2012) apresentaram razões para justificar a aplicação deste método em seu trabalho:

- As preferências linguísticas e conhecimento incompleto de diferentes grupos de interesse são mapeados para decidir a preferência por critérios quantitativos e qualitativos e comparar alternativas distintas;
- O FTOPSIS pode identificar a melhor solução que está mais próxima à solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa;
- O painel proposto pode ser resolvido facilmente;

Este modelo será abordado e detalhado no próximo capítulo.

### 3.5 Considerações finais sobre o capítulo

Como abordado neste capítulo e no anterior, os sistemas de mensuração e avaliação da capacidade inovativa de empresas, reportados na literatura especializada (1990-2016), são predominantemente voltados para grandes empresas e não levam em consideração especificidades de empresas de menor porte. Os resultados da revisão bibliográfica indicaram ainda que os métodos multicritério de apoio à decisão têm sido os mais adotados, mas que ainda são

poucos os estudos que relatam o uso de modelos e métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão com esse propósito.

Particularmente no contexto das MPMEs, os trabalhos que focalizam a mensuração da capacidade inovativa de empresas de menor porte (Boly et al., 2014; Sepulveda e Vasquez, 2014; Galvez et al., 2013) empregam métodos multicritério de apoio à decisão, mas ainda não combinam métodos multicritério com a teoria de conjuntos *fuzzy*. Abre-se, portanto, um amplo campo para pesquisas futuras orientadas para o desenvolvimento e validação de modelos para mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs, com base na integração de métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão, tendo em vista o contexto de incerteza no qual se inserem essas empresas.

Neste capítulo, buscou-se apresentar, de forma sucinta, os métodos de escolha para o desenvolvimento de um modelo de mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs, que combine métodos clássicos de apoio à tomada de decisão (AHP e TOPSIS) com a lógica dos conjuntos *fuzzy* – FAHP e FTOPSIS.

Como visto, o método AHP vem sendo amplamente utilizado para a determinação das prioridades entre os diferentes critérios e subcritérios de um determinado processo decisório. Já o TOPSIS pode classificar e hierarquizar alternativas, identificando a melhor solução que está mais próxima da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa.

Como abordado por Zadeh (1973), problemas complexos não podem ser traduzidos exclusivamente em números, mas em rótulos de conjuntos *fuzzy*. Essa abordagem traz para a presente pesquisa uma perspectiva de refinamento dos métodos multicritério de apoio à decisão atualmente empregados na mensuração da capacidade inovativa de MPMEs. Ainda para Yager (1977), a aplicabilidade de conjuntos *fuzzy* deriva do fato de que nós podemos representar ambos os modos, muito vagos ou objetivos *fuzzy*, bem como objetivos precisamente definidos. Ademais, permite lidar com objetivos que são muito subjetivos assim como aqueles muito objetivos.

## 4

### Modelo *Fuzzy* AHP-TOPSIS para a mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs

Propõe-se um modelo para a mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs, baseado na integração de dois métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão – FAHP e FTOPSIS. Este modelo compreende sete etapas, agrupadas em duas fases: (i) a fase *fuzzy* AHP, na qual se estabelecem os pesos para os critérios e subcritérios para mensuração da capacidade inovativa de MPMEs; e (ii) a fase *fuzzy* TOPSIS, na qual se hierarquizam as MPMEs, pelo seu índice de capacidade inovativa.

#### 4.1

##### Visão geral do modelo

A Figura 4.1 representa graficamente o modelo para a mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs. Como apresentado na Figura 4.1, a primeira fase – *fuzzy* AHP compreende quatro etapas:

- construção da hierarquia: definição de critérios e subcritérios;
- cálculo das matrizes de comparação pareadas *fuzzy*, usando ‘*triangular fuzzy numbers*’ (TFN);
- análise da consistência das matrizes de comparação pareadas *fuzzy* pelo índice de consistência (IC);
- obtenção dos pesos dos critérios e subcritérios de *fuzzy* AHP.

Após a obtenção dos pesos de cada critério e subcritério gerados no passo 4 da fase I, pode-se dar início à fase II – *fuzzy* TOPSIS. Esta segunda fase consiste das seguintes etapas:

- Cálculo de matrizes *fuzzy* de avaliação, usando o conjunto de termos linguísticos *fuzzy*;
- Determinação da solução ideal *fuzzy* positiva e negativa (FPIS e FNIS) e definição da distância para FPIS (D+) e para FNIS (D-);

- Determinação da proximidade relativa do valor ideal, tendo como resultado a ordenação final.

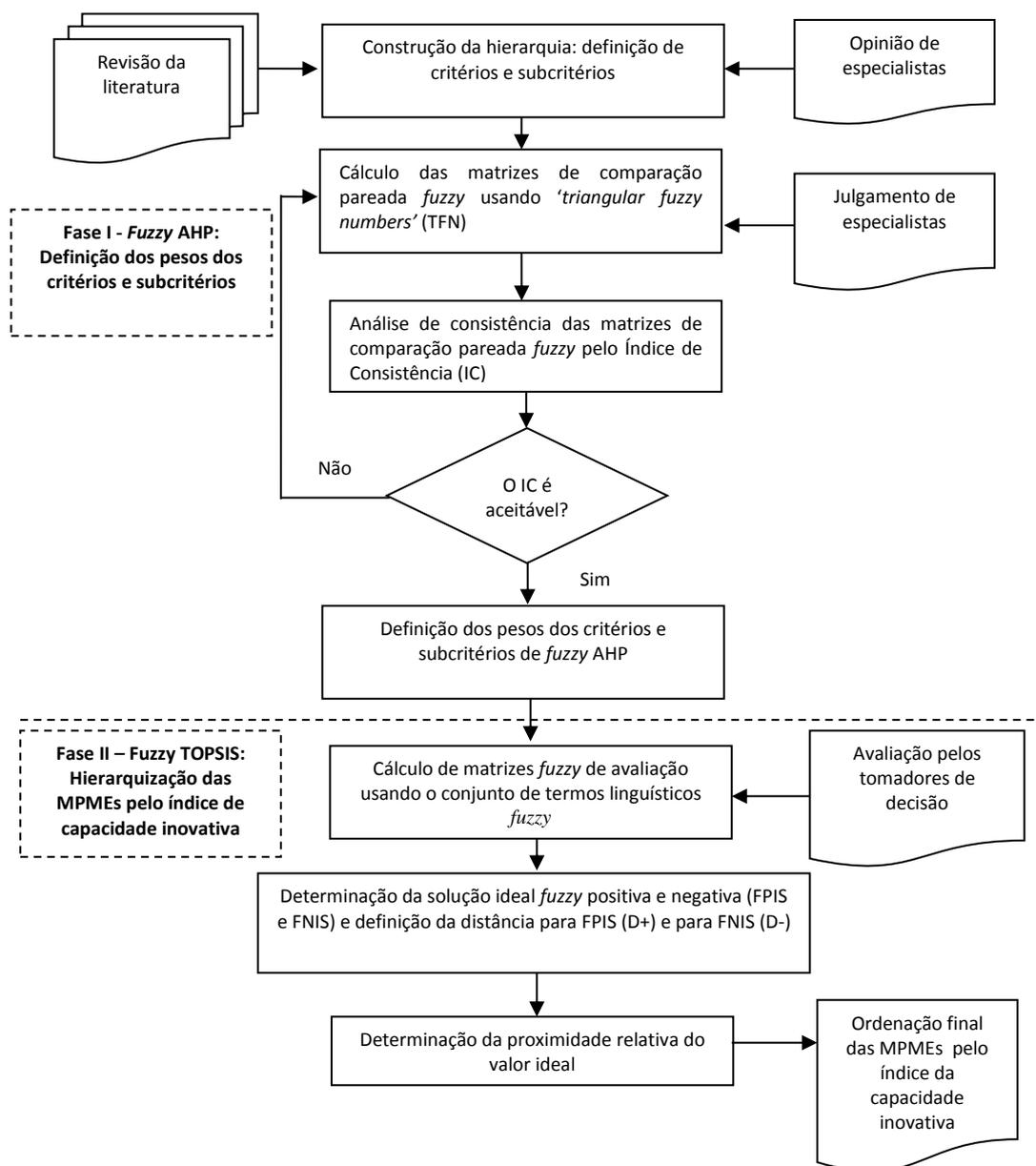


Figura 4.1 – Modelo Fuzzy AHP-TOPSIS para a mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs

Fonte: Elaboração própria.

## 4.2 Descrição da Fase I – *Fuzzy* AHP

Descrevem-se nos itens a seguir as quatro etapas da primeira fase (*Fuzzy* AHP).

### 4.2.1 Construção da hierarquia: definição de critérios e subcritérios

A partir da revisão de modelos de mensuração e avaliação da capacidade inovativa de empresas em geral e, em particular de MPMEs, definem-se os critérios e subcritérios que deverão compor estrutura hierárquica em foco. Segundo Saaty (2008), os elementos que devem fazer parte dessa hierarquia são os seguintes:

- Objetivo: é o elemento que fica no topo da estrutura e representa o problema que se espera solucionar;
- Critérios e subcritérios: situados no nível da estrutura imediatamente abaixo do objetivo, são os fatores considerados por exercer influência sobre o objetivo. Os critérios podem ser ainda divididos em subcritérios, localizados em um nível abaixo na hierarquia e conectados apenas ao critério em questão.

Na Figura 4.2, apresenta-se um esquema representativo da hierarquia em foco, sendo o conjunto de critérios estabelecido como:  $C = \{c1, c2, c3\}$ . Por sua vez, o conjunto de subcritérios 'C1' foi representado por :  $c1 = \{c11, c12, c13, \dots, c1n\}$ .

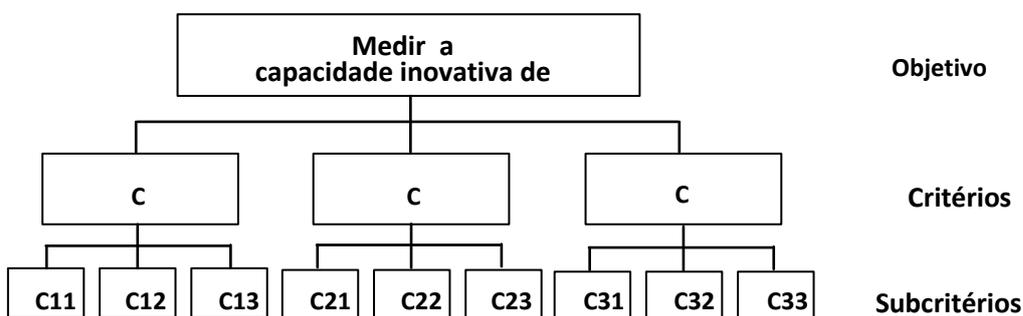


Figura 4.2 – Estrutura hierárquica de decisão do método *fuzzy* AHP  
Fonte: Elaboração própria.

#### 4.2.2

### Cálculo das matrizes de comparação pareada *fuzzy* usando “*triangular fuzzy numbers*” (TFN)

Com os critérios e subcritérios definidos, este passo apoia-se no julgamento dos especialistas para definir as matrizes de importância. Nesta etapa, os especialistas comparam par a par, ou seja, critério a critério, e subcritério a subcritério, de acordo com a preferência estabelecida entre eles. Assim, serão construídas quatro matrizes: a primeira matriz será composta pelas três dimensões, e as outras três compostas dos subcritérios de cada dimensão.

Assim, a escala usada para capturar a imprecisão desta comparação pareada de critérios e subcritérios é a escala *Fuzzified Saaty’s 9-point scale*, adotando os conjuntos da função de pertinência de ‘*triangular fuzzy number*’ (TFN).

Pelo julgamento dos especialistas e com os termos linguísticos escolhidos, serão obtidas as matrizes de importância em ambiente *fuzzy*, considerando-se um intervalo (suporte), a função de pertinência estabelecida e seu grau de pertinência e não mais valores reais fixos (*crisp*), como comumente praticado no método AHP não *fuzzy*.

A Tabela 4.1 apresenta os termos linguísticos, da variável linguística, adotados e seus respectivos números *fuzzy* triangulares.

Tabela 4.1 – Termos linguísticos adotados e seus respectivos números *fuzzy* triangulares

Termos linguísticos <i>fuzzy</i>	<i>Triangular fuzzy numbers</i> (TFN)
Preferência igual	$(\frac{1}{2}, 1, 2)$
Preferência entre igual e moderada	(1, 2, 3)
Preferência moderada	(2, 3, 4)
Preferência entre moderada e forte	(3, 4, 5)
Preferência forte	(4, 5, 6)
Preferência entre forte e muito forte	(5, 6, 7)
Preferência muito forte	(6, 7, 8)
Preferência entre muito forte e absoluta	(7, 8, 9)
Preferência absoluta	(8, 9, 9)

Fonte: Krejčí et al. (2016).

A Figura 4.3, a seguir, é a representação gráfica da escala dos termos linguísticos (Tabela 4.1) e apresenta a função de pertinência para os termos linguísticos dos critérios e subcritérios.

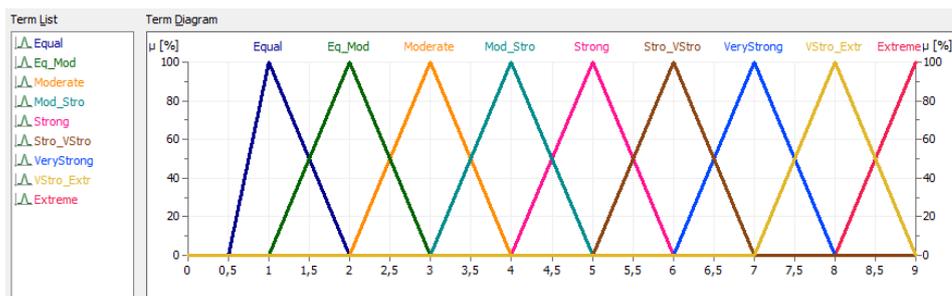


Figura 4.3 – Função de pertinência para os termos linguísticos dos critérios e subcritérios  
Fonte: Elaboração própria.

A partir dos julgamentos dos especialistas em relação à importância dos critérios e subcritérios, a matriz *fuzzy* de comparação pareada  $\tilde{A}$  é construída e pode ser expressa na equação (4.1), a seguir.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{1}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{1}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & \tilde{1}_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Onde  $\tilde{a}_{ij} = (1,1,1)$ , se  $i$  igual a  $j$  e  $\tilde{a}_{ij}$  assume os valores da Tabela 4.1 ou seus valores inversos quando  $i$  é diferente de  $j$ . Os valores invertidos são computados a partir da classificação fornecida, onde  $\tilde{A}_{ij}$  é a matriz dos valores apontados para o relacionamento pareado, então  $\tilde{A}_{ji}$  igual a  $1 / \tilde{A}_{ij}$ .

#### 4.2.3

#### Análise de consistência das matrizes de comparação pareadas *fuzzy* pelo índice de consistência (IC)

Um benefício deste método é que as consistências das matrizes podem ser testadas, como no método clássico AHP. De acordo com Patil e Kant (2014), quando a comparação da matriz *crisp* (valores reais fixos)  $A$  é consistente, significa que a matriz de comparação *fuzzy*  $\tilde{A}$  também é consistente.

A Razão de Consistência (RC) é usada para estimar a consistência das comparações pareadas e pode ser expressa pela equação (4.2), a seguir:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (4.2)$$

onde o índice de consistência é:  $IC = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$ ,  $\lambda_{max}$  é o maior autovalor e o índice de consistência aleatório ( $IR$ ) é mostrado na Tabela 4.2, sendo  $n$  o tamanho da matriz.

Tabela 4.2 – Índice de consistência aleatória ( $IR$ )

Tamanho $n$	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40

Fonte: Saaty e Vargas (2012).

Como regra comum, quando  $RC \leq 0,10$ , a consistência é aceita. Se  $IC$  não for aceito, é necessário revisar a matriz de comparação, ou seja, retornar ao passo (ii). No caso de aceito, os pesos poderão ser obtidos.

#### 4.2.4

#### Obtenção dos pesos dos critérios e subcritérios de *fuzzy* AHP

Os pesos são comumente chamados de vetor prioridade ( $W$ ) e podem ser expressos por  $\tilde{W}^T = (\tilde{w}_1^T, \tilde{w}_2^T, \dots, \tilde{w}_n^T)$ . Estes são calculados pela média geométrica de cada linha da matriz de comparação pareada como proposto por Krejčí, Pavlačka, e Talašová (2016) e implementado por Jan Caha e Aneta Drážná (2016) no pacote *Fuzzy* AHP do Programa R-Project.

Com os pesos calculados, passa-se à Fase II do modelo, descrita a seguir.

### 4.3

#### Descrição da Fase II – *Fuzzy* TOPSIS

Descrevem-se a seguir as três etapas da Fase II do modelo, a saber: (i) cálculo de matrizes *fuzzy* de avaliação, usando o conjunto de termos linguísticos *fuzzy*; (ii) determinação da solução ideal *fuzzy* positiva e negativa (FPIS e FNIS) e definição da distância para FPIS (D+) e para FNIS (D-); e (iii) determinação da proximidade relativa do valor ideal, tendo como resultado a ordenação final.

#### 4.3.1

#### Criação de matrizes *fuzzy* de avaliação com uso do conjunto de termos linguísticos *fuzzy*

Com os pesos calculados na última etapa da Fase I, pode-se iniciar a Fase *fuzzy* TOPSIS. Esta fase leva em consideração os valores fornecidos pelos

tomadores de decisão em relação a cada critério e subcritério. Para esta classificação vaga e subjetiva, é comumente usada a escala Likert de cinco pontos, na qual cada ponto representa um nível de maturidade, e conseqüentemente, cada nível recebe um valor numérico triangular *fuzzy*.

Para isto, duas variantes para o modelo foram consideradas. A primeira variante foi construída considerando que cada termo linguístico possui a mesma incerteza do respondente. Esta equivalência é expressa pelo suporte igual a 2 de cada número *fuzzy*. Por sua vez, a segunda variante foi construída com diferentes triângulos com o intuito de ampliar a incerteza dentro dos triângulos dos termos centrais, termos esses onde pode aparecer as maiores incertezas no momento de resposta dos respondentes. Ademais, foram mantidos os valores extremos da escala Likert “1” e “5” como os extremos máximos para este conjunto de funções de pertinência. Desta forma, a base/suporte triangular dos termos extremos 1 e 5, passam a ter base/suporte de 1, os termos linguísticos 2 e 4 passam a ser 2,5, enquanto que o termo central ganha maior amplitude com suporte de 3.

A Tabela 4.3 apresenta a descrição dos termos linguístico e seus respectivos valores numéricos *fuzzy* atribuídos as variante 1 (V1) e variante (V2):

Tabela 4.3 – Termos triangulares *fuzzy* para comparação *fuzzy* pareada

Descrição	Nível de maturidade	Valor numérico <i>fuzzy</i> (V1)	Valor numérico <i>fuzzy</i> (V2)
Muito baixo (MB)	1	(0,1,2)	(1; 1; 2)
Baixo (B)	2	(1,2,3)	(1; 2; 3,5)
Médio (M)	3	(2,3,4)	(1,5; 3; 4,5)
Alto (A)	4	(3,4,5)	(2,5; 4; 5)
Muito alto (MA)	5	(4,5,6)	(4; 5; 5)

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos termos linguísticos e respectivos valores *fuzzy*, a matriz de decisão  $\tilde{D}$  foi construída e é apresentada a seguir:

$$\tilde{D} = \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ E_s \end{matrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{s1} & \tilde{x}_{s2} & \dots & \tilde{x}_{sn} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

onde  $E_m$  são as alternativas e  $x_{mn}$  são os valores apontados pelos tomadores de decisão.

A partir da matriz original, gera-se a matriz de decisão *fuzzy* normalizada  $\tilde{R}_{ij}$ , por meio de padronização linear.

$$\tilde{R}_{ij} = [\tilde{r}_{ij}]_{s \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, s; \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.4)$$

onde,  $\tilde{r}_{ij} = (\tilde{r}_{ij}^l, \tilde{r}_{ij}^m, \tilde{r}_{ij}^n) = \left( \frac{c_j^+ - x_{ij}}{c_j^+ - c_j^-}, \frac{x_{ij}}{c_j^m}, \frac{x_{ij} - c_j^-}{c_j^+ - c_j^-} \right), i = 1, 2, \dots, m$

$$c_j^+ = \max_i c_i^u$$

$$c_j^m = \max_i c_i^m$$

$$c_j^- = \min_i c_i^l$$

O  $c_j^+$  é o valor máximo de  $c_j^*$  para cada subcritérios, e é usado quando os valores estão na posição médio ( $m$ ) e superior ( $u$ ) no número *fuzzy*, e o  $c_j^-$  é o valor mínimo de  $c_j^*$ , e é usado nos valores inferiores ( $l$ ) do número *fuzzy*.

Uma vez construída a matriz padronizada, os pesos encontrados no método *fuzzy* são aplicados e formam uma nova matriz  $\tilde{V}$ .

Ao considerar os pesos dos critérios e subcritérios, chega-se ao Peso *Fuzzy* Total, que é calibrado e estabelecido por:

$$W_{Total} = W_{Critério} \times W_{Subcritério} \quad (4.5)$$

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (4.6)$$

onde,  $\tilde{v}_{ij} = (\tilde{v}_{ij}^l, \tilde{v}_{ij}^m, \tilde{v}_{ij}^u) = w_j \otimes \tilde{r}_{ij} = (w_j^l \tilde{r}_{ij}^l, w_j^m \tilde{r}_{ij}^m, w_j^u \tilde{r}_{ij}^u)$ .

#### 4.3.2

#### Determinação da solução ideal *fuzzy* positiva e negativa (FPIS e FNIS) e definição da distância para FPIS (D+) e para FNIS (D-)

Nesta etapa, a distância euclidiana é calculada, considerando os valores normalizados e calibrados *fuzzy* encontrados no passo (v), e a solução ideal *fuzzy* positiva (FPIS) e solução ideal *fuzzy* negativa (FNIS), onde FPIS ( $\tilde{v}_j^*$ ) é o valor máximo de cada subcritério e FNIS ( $\tilde{v}_j^-$ ) é o valor mínimo de cada subcritério.

Com isto, a matriz recebe nova denotação  $V^+$  e  $V^-$ , que serão calculadas de acordo com a distância à FPIS,  $\tilde{v}_j^*$ , e a distância à FNIS,  $\tilde{v}_j^-$ , respectivamente.

$$\tilde{V}^+ = d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \text{ onde } \tilde{v}_j^* = (\max\{\tilde{v}_{ij}^l\}, \max\{\tilde{v}_{ij}^m\}, \max\{\tilde{v}_{ij}^u\}), j = 1, 2, \dots, n, \quad (4.7)$$

$$\tilde{V}^- = d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \text{ onde } \tilde{v}_j^- = (\min\{\tilde{v}_{ij}^l\}, \min\{\tilde{v}_{ij}^m\}, \min\{\tilde{v}_{ij}^u\}), j = 1, 2, \dots, n \quad (4.8)$$

Finalmente, as distâncias euclidianas são somadas e dois vetores  $D^+$  e  $D^-$  são estabelecidos.

$$D^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), i = 1, 2, \dots, m \quad (4.9)$$

$$D^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i = 1, 2, \dots, m \quad (4.10)$$

### 4.3.3

#### Determinação da proximidade relativa do valor ideal

Os coeficientes de proximidade são mensurados com base nas distâncias positiva e negativa, como descrito na etapa anterior.

Os coeficientes de proximidade ( $CC_i$ ) são a proximidade relativa da solução ideal *fuzzy* positiva e negativa e podem ser calculados pela seguinte equação:

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (4.11)$$

Uma vez calculados, os coeficientes encontram-se em uma mesma base para todas as alternativas  $E_i$ . Assim, pode ser realizada a ordenação decrescente das MPMEs, pelos respectivos índices de capacidade inovativa.

## 4.4

### Considerações finais do capítulo

Para melhor mensurar e avaliar a capacidade inovativa de MPMEs, desenvolveu-se o modelo *Fuzzy* AHP-TOPSIS, considerando-se a multidimensionalidade, a complexidade e a incerteza como características inerentes a esse tipo de atividade. O modelo aqui proposto permite estabelecer uma base comparativa para a avaliação das MPMEs, segundo seus respectivos índices de capacidade inovativa.

No capítulo seguinte, busca-se validar a aplicabilidade deste modelo, mediante um estudo empírico realizado junto a 15 MPMEs participantes do Programa NAGI da PUC-Rio em 2015.

## 5

### **Validação do modelo: estudo empírico com empresas participantes do Programa NAGI PUC-Rio**

Neste capítulo, relatam-se e discutem-se os resultados do estudo empírico realizado junto a 15 MPMEs participantes do Programa NAGI da PUC-Rio em 2015, demonstrando-se o potencial de aplicação do modelo proposto. Comparam-se os resultados obtidos no estudo empírico com aqueles gerados pela aplicação de métodos de apoio à decisão, que não são combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*. Responde-se, neste capítulo, à questão principal da pesquisa – “Em que medida a aplicação de métodos multicritério de apoio à decisão, combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*, poderá contribuir para o aumento da efetividade e da agilidade nos processos de monitoramento e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs?”

#### **5.1**

##### **Contexto de aplicação: Programa NAGI-PUC-Rio**

A Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), que é subordinada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), em agosto de 2010, por meio da Chamada Pública 11/2010 (Anexo 3), buscou selecionar propostas para estruturação e operação de Núcleos de Apoio à Gestão de Inovação - NAGIs. Vale ainda ressaltar que esta chamada pública encontra-se no âmbito do Programa Nacional de Sensibilização e Mobilização Pró-Inova e da Mobilização Empresarial para a Inovação – MEI. Em resumo, este programa provê acesso às empresas locais, alta qualidade de informação tecnológica e serviços relacionados, para ajudar estas a explorar o seu potencial de inovação e criar, proteger e gerenciar seus ativos intelectuais.

Nesse contexto, foram estabelecidas parcerias em diversos centros tecnológicos do Brasil para disseminação de boas práticas da Gestão de Inovação. Como resultado, foram criados 24 NAGIs espalhados pelo Brasil, sendo um destes núcleos estabelecido por meio da parceria criada com o Instituto Gênese,

unidade complementar da universidade Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), que tem por objetivo transferir conhecimento da universidade para a sociedade, por meio da formação de empreendedores e da geração de empreendimentos inovadores de sucesso, contribuindo, assim, para a inclusão social, para a preservação da cultura nacional e melhoria da qualidade de vida da região onde está inserido. A Figura 5.1 ilustra a distribuição dos NAGIs pelo país.

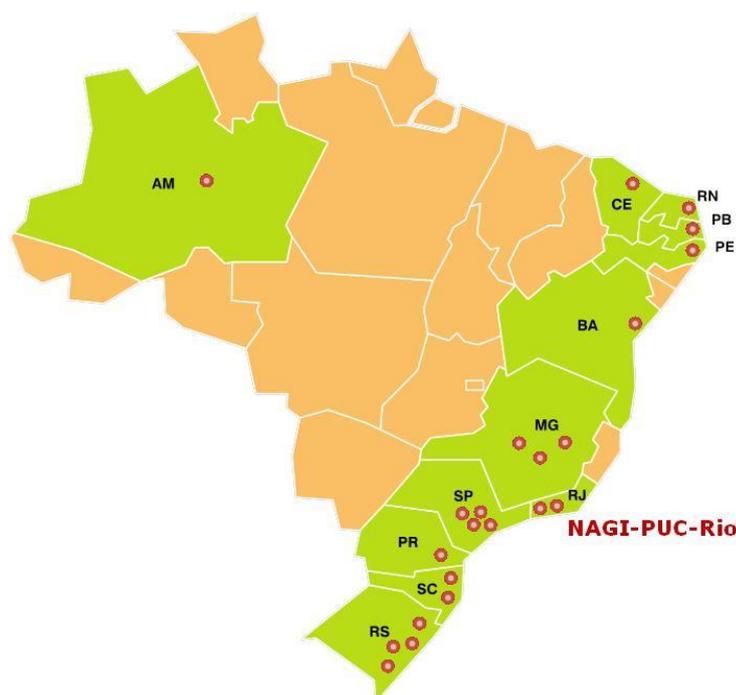


Figura 5.1 – Núcleos de Apoio à Gestão de Inovação (NAGI) no Brasil  
Fonte: Elaboração própria.

No ciclo de 2015 do Programa NAGI-PUC-Rio, o Instituto Gênesis da PUC-Rio reuniu 15 MPMEs do Rio de Janeiro, com os seguintes objetivos: (i) avaliar a situação atual/ nível de maturidade de cada empresa em relação à sua capacidade inovativa e ao desempenho inovador; e (ii) instrumentalizar a fase subsequente de elaboração do Plano de Gestão da Inovação – PGI; e (iii) propor uma sistemática para monitoramento e avaliação da execução do Plano de Gestão da Inovação – PGI das MPMEs atendidas.

## 5.2

### Coleta de dados junto a empresas participantes do Programa NAGI-PUC-Rio

Na fase de coleta de dados junto às empresas participantes do Programa NAGI-PUC-Rio (ciclo 2015), elaborou-se e aplicou-se um instrumento de pesquisa, abordando-se 42 boas práticas de gestão de inovação, considerando-se as características das MPMEs e as dimensões de análise abordadas nos estudos empíricos sobre capacidade inovativa de MPMEs.

As práticas foram classificadas segundo nove temas, que, por sua vez, foram agrupados em três dimensões: ‘Governança e organização’; ‘Gerenciamento de pessoas’; e ‘Gestão de processos’. A seguir, as definições das três dimensões principais:

- ‘Governança e organização’: nesta dimensão, analisam-se o papel da liderança na condução do processo de inovação, a adoção de formas e mecanismos para seu gerenciamento e as estruturas organizacionais para as atividades de PD&I. Avalia-se também a adoção pela empresa de práticas para estabelecer sua estratégia de inovação e o alinhamento entre estratégia de inovação e a estratégia de negócios. Identificam-se valores, crenças e rotinas que estimulam atividades inovativas na empresa.
- ‘Pessoas’: nesta dimensão, avaliam-se a capacidade de gerenciar e valorizar seu capital humano, as competências organizacionais associadas às atividades de P,D&I e as formas de gestão e organização em rede.
- ‘Processos’: nesta dimensão, analisam-se os processos e rotinas organizacionais mais relevantes para a dinâmica de inovação da empresa e para seu desempenho na implementação de sua estratégia de inovação. Inclui-se a análise de processos de aprendizagem e melhoria contínua e avalia-se como são efetivadas a proteção do conhecimento e a apropriação econômica dos resultados de PD&I.

O processo de coleta de dados junto às 15 MPMEs foi realizado em duas etapas: (i) autoavaliação pelas empresas, respondendo ao instrumento de pesquisa; e (ii) entrevistas com os diretores ou gestores das empresas, visando obter mais

informações sobre os pontos de atenção identificados na primeira etapa e confirmar/rever posicionamentos definidos durante a autoavaliação.

Cabe destacar que a condução do processo de coleta de dados foi precedida por um pré-teste do instrumento com outras empresas incubadas no Instituto Gênesis, que sugeriram, na ocasião, ajustes na redação de algumas questões e propuseram a inclusão de uma questão e a exclusão de outra. A versão final ajustada compreende 42 questões, distribuídas em 10 temas, agrupados em três dimensões, como detalhado no Quadro 5.1.

O Quadro 5.1 apresenta a estrutura hierárquica do instrumento de pesquisa, evidenciando-se a relação entre as dimensões, temas e práticas.

Quadro 5.1 – Estrutura hierárquica do instrumento de pesquisa

Dimensão	Tema	Práticas/Questões
<b>Governança e organização</b>	Liderança e cultura	P1 a P9
	Estratégia	P10 a P14
	Estrutura	P15 a P18
<b>Pessoas</b>	Capital humano	P19 a P21
	Competências organizacionais	P22 a P26
	Relacionamentos externos e cooperação	P27 a P29
<b>Processos</b>	Gestão das atividades de P,D&I	P30 a P35
	Aprendizagem e melhoria contínua	P36 a P39
	Proteção do capital intelectual e apropriação econômica dos resultados	P40 a P42
<b>3 dimensões</b>	<b>9 temas</b>	<b>42 práticas</b>

Fonte: Elaboração própria.

Adotou-se uma escala Likert de 5 pontos para cada questão, de modo que as empresas pudessem posicionar quanto ao nível de maturidade em relação a cada uma das 42 práticas de gestão da inovação. Os níveis de maturidade considerados foram: 1 - Incipiente ou inexistente; 2 - Pouco desenvolvida; 3 - Em desenvolvimento; 4 - Muito desenvolvida; 5 - Nível de excelência.

Todas as 15 empresas responderam ao instrumento e participaram do ciclo de entrevistas. As MPMEs são de setores econômicos diferentes, fazendo com que a amostra fosse heterogênea em sua composição.

O Quadro 5.2 mostra as atividades econômicas das MPMEs que participaram do Programa NAGI-PUC-Rio em 2015.

Quadro 5.2 – Atividades econômicas das empresas que participaram do programa NAGI PUC-Rio

<b>Empresas</b>	<b>Atividade econômica</b>
E1	Serviços de engenharia
E2	Limpeza Urbana e Esgoto
E3	Produção de Filmes/Publicidade
E4	Administração e Aluguel de Imóveis
E5	Pesquisa de Mercado
E6	Limpeza Urbana e Esgoto
E7	Publicidade
E8	Desenvolvimento de <i>Software</i> e Processamento de dados
E9	Fabricação de conservas de frutas
E10	Comércio varejista de artigos do vestuário e acessórios
E11	Desenvolvimento de <i>Software</i> e Processamento de dados
E12	Distribuição de alimentos
E13	Serviços <i>Online</i>
E14	Design e decoração de interiores
E15	Desenvolvimento de <i>Software</i> para setor educacional

Fonte: Elaboração própria.

### 5.3 Análise e formatação dos dados

Os resultados da etapa anterior deram origem a um banco de dados das MPMEs em Excel. A partir deste banco de dados, foram geradas as primeiras análises, apontando por meio de médias aritméticas e interpolação linear das práticas, a primeira forma de cálculo para os indicadores compostos das três dimensões da capacidade inovativa, consideradas para fins desta pesquisa.

Para a análise dos resultados referentes à capacidade inovativa das MPMEs, utilizou-se uma tipologia definida por Boly et al. (2014), a partir de categorização consagrada nas áreas de Estratégia e Prospectiva, baseada no modelo conceitual de Godet (1997). As classes e respectivas faixas de valores dos índices de capacidade inovativa (ICI) são descritas na Tabela 5.1, a seguir.

Tabela 5.1 – Classes de atitudes das MPMEs em relação à gestão de P,D&amp;I

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>	<b>Faixa de valores dos Índices de Capacidade Inovativa</b>
Proativa	A empresa age para provocar as mudanças desejadas e gerencia de forma efetiva processos estruturados de gestão de P,D&I, que geram vantagens competitivas sustentáveis.	61 a 100%
Preativa	A empresa antecipa mudanças no ambiente externo e gerencia bem alguns processos de gestão de P,D&I, gerando vantagens competitivas de curto e médio prazo, baseadas em inovações incrementais.	42 a 60%
Reativa	A empresa reage às mudanças do ambiente externo e seus processos de gestão de P,D&I não se encontram bem estruturados.	30 a 41%
Passiva	A empresa adota uma estratégia defensiva e atividades permanentes de gestão de P,D&I não existem ou encontram-se em estágio incipiente.	0 a 29%

Fonte: Boly et al. (2014) e Godet (1997)

Foram feitas as médias dos julgamentos dos gestores das MPMEs em relação a cada uma das 42 práticas e, posteriormente, em relação a cada um dos nove temas. Assim, foram obtidos os primeiros índices da capacidade inovativa de cada MPME e sua classificação segundo a tipologia definida por Boly et al. (2014). A Tabela 5.2 apresenta esses resultados preliminares da mensuração da capacidade inovativa das MPMEs participantes do Programa NAGI-PUC-Rio em 2015.

Tabela 5.2 – Resultados preliminares da mensuração da capacidade inovativa (ICI) das MPMEs participantes do Programa NAGI-PUC-Rio em 2015

<b>Empresas</b>	<b>ICI</b>	<b>Classe</b>
<i>E1</i>	64,44%	Proativa
<i>E2</i>	35,75%	Reativa
<i>E3</i>	52,06%	Preativa
<i>E4</i>	47,85%	Preativa
<i>E5</i>	53,10%	Preativa
<i>E6</i>	46,23%	Preativa
<i>E7</i>	47,79%	Preativa
<i>E8</i>	49,44%	Preativa
<i>E9</i>	35,92%	Reativa
<i>E10</i>	38,25%	Reativa
<i>E11</i>	80,51%	Proativa
<i>E12</i>	36,07%	Reativa
<i>E13</i>	33,45%	Reativa
<i>E14</i>	32,82%	Reativa
<i>E15</i>	52,27%	Preativa

Fonte: Elaboração própria.

Esses resultados preliminares permitem destacar duas empresas proativas. As demais são sete preativas e seis reativas. Nenhuma MPME foi classificada como passiva. No entanto, vale ressaltar que esses resultados refletem lacunas metodológicas, uma vez que os dados categóricos e subjetivos não foram considerados. A possível imprecisão dos julgamentos pelos gestores quanto ao grau de maturidade em relação a cada uma das 42 práticas de gestão da inovação e o caráter hierárquico entre dimensões e temas não são abordados. Dessa forma, como já comentado em capítulos anteriores, abriu-se uma oportunidade para aplicação de métodos multicritério combinados com a lógica dos conjuntos *fuzzy*, que compensem essas limitações.

#### 5.4

#### **Aplicação de métodos de apoio à decisão alternativos às práticas correntes**

Para preencher as lacunas identificadas no método inicial de análise, foram identificadas aplicações de diversos métodos multicritério de análise para apoio à tomada de decisão. Dentre eles, citam-se: *Analytical Hierarchy Process* (AHP), *Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL), *Analytical Network Process* (ANP), *ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (VIKOR), *Grey relational analysis* (GRA) e *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS).

A estrutura hierárquica do instrumento de pesquisa (Apêndice 1) é composta por três das dimensões, que são desdobradas em nove temas. Os temas, por sua vez, são desdobrados em 42 práticas de gestão da inovação. Por se tratar de um problema de mensuração multidimensional, a segunda alternativa metodológica explorada no estudo empírico foi o método *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Porém, só os pesos encontrados pelas importâncias preenchem apenas uma lacuna do problema. Havia a necessidade de os dados categóricos serem colocados em uma mesma base de análise e a técnica de ordenação de desempenho (TOPSIS) surge para contribuir neste ponto, formando, assim, a terceira alternativa metodológica explorada no estudo empírico (método AHP-TOPSIS).

Finalmente, a última peça que faltava referia-se à mensuração da capacidade inovativa sob incerteza e imprecisão das respostas dos gestores de inovação.

Nesse sentido, considerou-se oportuno explorar a combinação dos métodos AHP e TOPSIS com a lógica dos conjuntos *fuzzy*, que resultou na modelagem descrita no capítulo 4.

Os resultados de cada uma das quatro abordagens metodológicas são apresentados e discutidos a seguir. Ao final, comparam-se os resultados para evidenciar os diferenciais no modelo *Fuzzy* AHP-TOPSIS em relação às alternativas anteriores.

#### 5.4.1 Resultados da aplicação do método AHP

As matrizes de comparação pareada dos critérios e subcritérios foram preenchidas por especialistas do Instituto Gênesis e do Programa Pós-MQI da PUC-Rio. As Tabelas 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6 mostram as respectivas matrizes de comparação pareada dos critérios (dimensões da capacidade inovativa) e subcritérios (temas de capacidade inovativa).

Tabela 5.3 – Matriz de comparação pareada dos critérios (dimensões)

Dimensões	Governança e organização	Pessoas	Processos
Governança e organização	1	3	6
Pessoas	1/3	1	3
Processos	1/6	1/3	1

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.4 – Matriz de comparação pareada dos subcritérios (temas) subordinados ao critério 'Governança e organização'

	Liderança e Cultura	Estratégia	Estrutura
Liderança e Cultura	1	2	6
Estratégia	1/2	1	6
Estrutura	1/6	1/6	1

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.5 – Matriz de comparação pareada dos subcritérios (temas) subordinados ao critério 'Pessoas'

	Capital humano	Competências organizacionais	Relacionamentos externos e cooperação
Capital humano	1	5	1/2
Competências organizacionais	1/5	1	1/5
Relacionamentos externos e cooperação	2	5	1

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.6 – Matriz de comparação pareada dos subcritérios (temas) subordinados ao critério ‘Processos’

	Gestão de Atividades P,D&I	Aprendizagem e Melhoria Contínua	Proteção do Capital Intelectual
Gestão de Atividades P,D&I	1	1/2	7
Aprendizagem e Melhoria Contínua	2	1	9
Proteção do Capital Intelectual	1/7	1/9	1

Fonte: Elaboração própria.

Cabe ressaltar que as matrizes apresentadas nas Tabelas 5.3 a 5.6 foram todas consistentes, ou seja, as respectivos RC foram inferiores a 0,1. A Tabela 5.7 reúne as razões de consistência das respectivas matrizes.

Tabela 5.7 – Razão de consistência das matrizes de critérios e subcritérios

	Razão de Consistência (RC)	Status RC ≤ 0.1
Critérios	0,0176	OK. Consistente
Subcritérios de ‘Governança e organização’	0,0516	OK. Consistente
Subcritérios de ‘Pessoas’	0,0516	OK. Consistente
Subcritérios de ‘Processos’	0,0209	OK. Consistente

Fonte: Elaboração própria.

A partir da verificação e validação de consistência, como mencionado anteriormente, as matrizes geraram os pesos de importância dos critérios (dimensões) e dos subcritérios (temas) subordinados a cada um dos três critérios. A Tabela 5.8, a seguir, resume os pesos dos critérios e subcritérios gerados pelo emprego do método AHP .

Tabela 5.8 – Pesos das dimensões, temas e pesos totais dos critérios e subcritérios

Dimensão (Critério)	Pesos das Dimensões (PD)	Temas (Subcritério)	Pesos dos Temas (PT)	Pesos Total (PD x PT)
Governança & Organização	0,6548	Liderança & Cultura	0,5675	0,3716
		Estratégia	0,3575	0,2341
		Estrutura	0,0751	0,0492
Pessoas	0,2499	Capital humano	0,3522	0,0880
		Competências organizacionais	0,0887	0,0222
		Relacionamentos externos e cooperação	0,5591	0,1397
Processos	0,0953	Gestão de atividades P,D&I	0,3458	0,0330
		Aprendizagem e melhoria contínua	0,5969	0,0569
		Proteção do capital intelectual	0,0572	0,0055

Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se que, uma vez que as matrizes foram consistentes, o método completo AHP pode gerar um *ranking* de empresas hierarquizadas segundo os respectivos índices de capacidade inovativa.

A Tabela 5.9 mostra o *ranking* estabelecido pelo método AHP completo, considerando-se somente as três dimensões (critérios) para formar o índice de capacidade inovativa (ICI).

Tabela 5.9 – *Ranking* das MPMEs pelo método AHP

MPMEs	Resultado AHP	<i>Ranking</i>
E11	4,09	1
E1	3,57	2
E3	2,99	3
E5	2,92	4
E15	2,73	5
E7	2,61	6
E8	2,56	7
E4	2,46	8
E6	2,39	9
E10	2,18	10
E9	2,13	11
E13	2,06	12
E2	2,05	13
E12	2,03	14
E14	1,87	15

Fonte: Elaboração própria.

A maior pontuação coube à empresa E11 – empresa de desenvolvimento de software e processamento de dados, seguida da empresa E1 – empresa de serviços de engenharia. A partir da terceira colocada, os resultados das MPMEs são bem próximos, com pouca diferenciação entre elas quanto à capacidade inovativa.

#### 5.4.2

#### Resultados da aplicação do método integrado AHP-TOPSIS

Nesta alternativa metodológica, foram usadas as respostas dadas pelos estores de inovação das MPMEs e aplicados os pesos totais dos critérios e subcritérios gerados pelo método AHP (Tabela 5.8). Foram calculadas as distâncias euclidianas à solução ideal positiva e negativa e, por fim, estabelecidas a classificação e a ordenação das MPMEs, segundo suas respectivas capacidades inovativas.

A Tabela 5.10, a seguir, mostra matriz de decisão das empresas *versus* seus subcritérios.

Tabela 5.10 - Matriz de decisão das empresas *versus* seus subcritérios

Empresas	Subcritério								
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9
E1	4,00	3,00	4,00	3,00	3,80	4,00	2,50	2,25	2,00
E2	2,33	2,00	2,25	2,00	1,80	2,00	1,17	1,50	1,00
E3	3,67	2,40	3,25	2,33	2,20	4,33	2,50	1,00	1,67
E4	2,67	2,40	3,00	2,00	2,20	1,00	2,67	2,60	3,00
E5	3,44	2,80	2,50	3,00	2,40	3,67	2,00	2,25	1,67
E6	2,78	1,80	2,25	2,33	2,80	2,33	2,17	1,75	2,00
E7	3,11	3,20	1,75	1,67	1,80	3,33	2,00	2,75	1,67
E8	3,11	2,40	2,00	3,33	1,40	2,75	2,80	2,50	1,67
E9	2,78	2,00	2,25	1,67	1,40	2,00	1,33	1,50	1,00
E10	2,56	3,00	1,75	1,67	1,00	2,33	1,67	2,25	1,00
E11	4,11	4,00	4,50	4,33	3,60	4,00	4,00	4,00	4,00
E12	2,67	1,80	1,75	2,00	1,60	1,67	1,33	2,00	1,00
E13	3,33	1,80	1,75	1,00	1,00	1,00	1,50	1,75	1,00
E14	1,89	1,80	2,75	2,00	1,20	2,00	1,17	1,50	1,00
E15	3,22	3,00	1,75	2,00	2,60	3,00	2,83	2,00	2,67

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez normalizados os dados e calibrados com os pesos totais, calculam-se as distâncias dos pontos ideais positivos e negativos, estabelecendo-se o *ranking* das empresas pelo método integrado AHP-TOPSIS (Tabela 5.11).

Tabela 5.11 – *Ranking* das empresas pelo método integrado AHP-TOPSIS

Empresas	Distância	Posição
E11	0,95	1
E1	0,71	2
E5	0,58	3
E3	0,56	4
E7	0,51	5
E15	0,50	6
E8	0,48	7
10	0,35	8
E6	0,33	9
E4	0,31	10
E13	0,29	11
E9	0,26	12
E12	0,24	13
E2	0,22	14
E14	0,18	15

Fonte: Elaboração própria.

### 5.4.3

#### Resultados da aplicação do modelo *Fuzzy* AHP-TOPSIS

Apresenta-se os resultados da aplicação empírica do modelo descrito no capítulo 4 junto às 15 empresas participantes do Programa NAGI-PUC-Rio em 2015. A aplicação do modelo foi realizada segundo duas variantes do conjunto de números *fuzzy*, como será descrito nos itens a seguir.

#### Fase I – *Fuzzy* AHP

##### Construção da hierarquia: Definição de critério e subcritério

Assim como no método AHP, os critérios referem-se às três dimensões e os subcritérios aos temas. A estrutura hierárquica adotada na Fase I é apresentada na Figura 5.2.

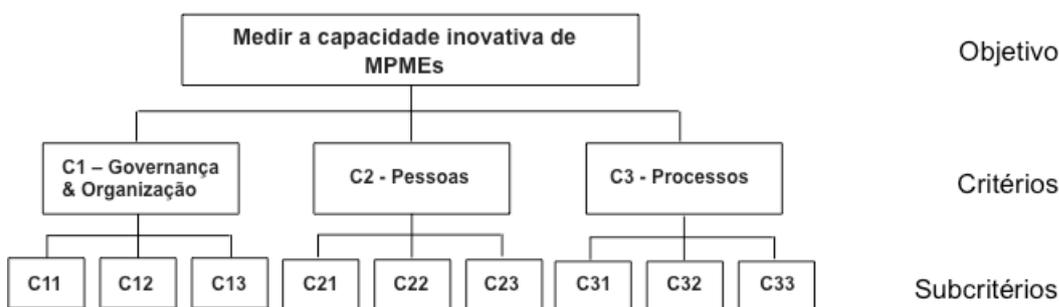


Figura 5.2 – Estrutura hierárquica do objetivo “Medir a capacidade inovativa de MPMEs

Fonte: Elaboração própria.

#### Matrizes de comparação pareadas *fuzzy* usando ‘*triangular fuzzy numbers*’ (TFN)

Nessa etapa, procedeu-se ao preenchimento das matrizes pareadas, consultando-se especialistas do Instituto Gênesis e do Pós-MQI da PUC-Rio. Pelo termo linguístico escolhido, atribui-se o número triangular *fuzzy*. A partir deste, foram criadas as matrizes apresentadas nos Tabelas 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15, a seguir.

Tabela 5.12 – Matriz Comparação *Fuzzy* – Critérios (Dimensões da Capacidade Inovativa)

Dimensões	Governança e organização	Pessoas	Processos
Governança e organização	(1;1;1)	(2;3;4)	(5;6;7)
Pessoas	(1/4;1/3;1/2)	(1;1;1)	(2;3;4)
Processos	(1/7;1/6;1/5)	(1/4;1/3;1/2)	(1;1;1)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.13 – Matriz Comparação *Fuzzy* – Subcritérios subordinados ao critério ‘Governança e organização’

	c1	c2	c3
c1	(1;1;1)	(1;2;3)	(5;6;7)
c2	(1/3;1/2;1)	(1;1;1)	(5;6;7)
c3	(1/7;1/6;1/5)	(1/7;1/6;1/5)	(1;1;1)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.14 – Matriz Comparação *Fuzzy* – Subcritérios subordinados ao critério ‘Pessoas’

	c4	c5	c6
c4	(1;1;1)	(4;5;6)	(1/3;1/2;1)
c5	(1/6;1/5;1/4)	(1;1;1)	(1/6;1/5;1/4)
c6	(1;2;3)	(4;5;6)	(1;1;1)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.15 – Matriz Comparação *Fuzzy* - Subcritérios subordinados ao critério ‘Processos’

	c7	c8	c9
c7	(1;1;1)	(1/3;1/2;1)	(6;7;8)
c8	(1;2;3)	(1;1;1)	(8;8;9)
c9	(1/8;1/7;1/6)	(1/9;1/9;1/8)	(1;1;1)

Fonte: Elaboração própria.

### **Análise da consistência das matrizes de comparação pareadas *fuzzy* pelo índice de consistência (IC)**

De acordo com Patil & Kant (2012), quando a matriz de comparação crisp  $A$  é consistente significa que a matriz comparação *fuzzy*  $\tilde{A}$  também é consistente. Portanto, como mostrado na Tabela 5.7, todas as quatro matrizes são consistentes.

### Obtenção dos pesos dos critérios e subcritérios pelo método FAHP

Os pesos foram calculados pelo método proposto por Krejčí, Pavlačka e Talašová (2016), que foram implementados por Jan Čaha e Aneta Drážná (2016) no pacote *Fuzzy AHP* do Programa R-Project. Os resultados desta etapa são apresentados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Pesos dos critérios e subcritérios pelo método FAHP

Dimensão (Critério)	Suporte	Pesos das Dimensões (PD)	Temas (Subcritério)	Pesos dos Temas (PT)	Pesos Total (PD x PT)	
Governança & Organização	Minimal	0,5695	Liderança & Cultura Estratégia Estrutura	0,4353	0,2479	
	Modal	0,6548		0,5675	0,3716	
	Maximal	0,7153		0,6491	0,4643	
	Governança & Organização	Minimal	0,5695	Capital Humano Competências Organizacionais Relacionamentos externos e cooperação	0,2790	0,1589
		Modal	0,6548		0,3575	0,2341
		Maximal	0,7153		0,4869	0,3483
	Governança & Organização	Minimal	0,5695	Gestão de Atividades P,D&I Aprendizagem e Melhoria Contínua	0,0627	0,0357
		Modal	0,6548		0,0751	0,0492
		Maximal	0,7153		0,0909	0,0650
Pessoas	Minimal	0,1870	Liderança & Cultura Estratégia Estrutura	0,2706	0,0506	
	Modal	0,2499		0,3522	0,0880	
	Maximal	0,3331		0,4844	0,1614	
	Pessoas	Minimal	0,1870	Capital Humano Competências Organizacionais Relacionamentos externos e cooperação	0,0724	0,0135
		Modal	0,2499		0,0887	0,0222
		Maximal	0,3331		0,1111	0,0370
	Pessoas	Minimal	0,1870	Gestão de Atividades P,D&I Aprendizagem e Melhoria Contínua	0,4232	0,0791
		Modal	0,2499		0,5591	0,1397
		Maximal	0,3331		0,6442	0,2146
Processos	Minimal	0,0754	Liderança & Cultura Estratégia Estrutura	0,2785	0,0210	
	Modal	0,0953		0,3458	0,0330	
	Maximal	0,1283		0,4706	0,0604	
	Processos	Minimal	0,0754	Capital Humano Competências Organizacionais Relacionamentos externos e cooperação	0,4706	0,0355
		Modal	0,0953		0,5969	0,0569
		Maximal	0,1283		0,6631	0,0851
	Processos	Minimal	0,0754	Gestão de Atividades P,D&I	0,0519	0,0039
		Modal	0,0953		0,0572	0,0055

Fonte: Elaboração própria.

## Fase II – Fuzzy TOPSIS

### Criação das matrizes *fuzzy* de avaliação usando o conjunto de termos linguísticos *fuzzy*

A partir dos termos linguísticos mostrados na Tabela 4.3 e dos respectivos valores *fuzzy*, construiu-se a matriz de decisão  $\tilde{D}$ , apresentada na Tabela 5.17. Nesta Tabela, “l” refere-se ao valor inferior *fuzzy*, “m” ao valor médio *fuzzy* e “n” ao valor superior *fuzzy*.

Para estabelecer os números *fuzzy*, valores “l”, “m” e “n”, foram usadas os termos linguísticos para cada prática, apontados pelos gestores de cada empresa, um exemplo do cálculo, como proposto por Taylan et al. (2016) pode ser ilustrado considerando o subcritério: Aprendizagem e Melhoria Contínua (SC8) para a empresa 1 (E1) da seguinte forma:

$$SC8_{E1} = \frac{(3; 4; 5) + (0; 1; 2) + (0; 1; 2) + (2; 3; 4)}{4} \quad (5.1)$$

$$SC8_{E1} = \frac{(3 + 0 + 0 + 2; 4 + 1 + 1 + 3; 5 + 2 + 2 + 4)}{4} \quad (5.2)$$

$$SC8_{E1} = (1,25; 2,25; 3,25) \quad (5.3)$$

É importante notar que duas variantes foram propostas na Tabela 4.3, primeiramente será aplicada a variante 1, na qual os valores *fuzzy* são formados com suporte igual a 2, ou seja, a base do triângulo para cada termo tem tamanho 2. Em um segundo momento será aplicada a variante 2, com funções de pertinências diferentes dentro do conjunto *fuzzy*.

#### Variante 1

Esta variante considera o ponto inferior “l”, está a uma unidade do valor médio, assim como o ponto superior “n”, também encontra-se a uma unidade de distância.

$$l = m - 1 \quad (5.3)$$

$$n = m + 1 \quad (5.4)$$

Como consequência direta, a matriz de decisão *fuzzy* apresentou valores com a mesma lógica, na qual o ponto inferior e o superior diferem de uma unidade do valor médio.

Tabela 5.17 – Matriz de decisão *fuzzy* das MPMEs *versus* subcritérios

Empresas	Subcritério																												
	SC1			SC2			SC3			SC4			SC5			SC6			SC7			SC8			SC9				
	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m
E1	3,0	4,0	5,0	2,0	3,0	4,0	3,0	4,0	5,0	2,0	3,0	4,0	2,8	3,8	4,8	3,0	4,0	5,0	1,5	2,5	3,5	1,3	2,3	3,3	1,0	2,0	3,0		
E2	1,3	2,3	3,3	1,0	2,0	3,0	1,3	2,3	3,3	1,0	2,0	3,0	0,8	1,8	2,8	1,0	2,0	3,0	0,2	1,2	2,2	0,5	1,5	2,5	0,0	1,0	2,0		
E3	2,7	3,7	4,7	1,4	2,4	3,4	2,3	3,3	4,3	1,3	2,3	3,3	1,2	2,2	3,2	3,3	4,3	5,3	1,5	2,5	3,5	0,0	1,0	2,0	0,7	1,7	2,7		
E4	1,7	2,7	3,7	1,4	2,4	3,4	2,0	3,0	4,0	1,0	2,0	3,0	1,2	2,2	3,2	0,0	1,0	2,0	1,7	2,7	3,7	2,0	3,0	4,0	1,3	2,3	3,3		
E5	2,4	3,4	4,4	1,8	2,8	3,8	1,5	2,5	3,5	2,0	3,0	4,0	1,4	2,4	3,4	2,7	3,7	4,7	1,0	2,0	3,0	1,3	2,3	3,3	0,7	1,7	2,7		
E6	1,8	2,8	3,8	0,8	1,8	2,8	1,3	2,3	3,3	1,3	2,3	3,3	1,8	2,8	3,8	1,3	2,3	3,3	1,2	2,2	3,2	0,8	1,8	2,8	1,0	2,0	3,0		
E7	2,1	3,1	4,1	2,2	3,2	4,2	0,8	1,8	2,8	0,7	1,7	2,7	0,8	1,8	2,8	2,3	3,3	4,3	1,0	2,0	3,0	1,8	2,8	3,8	0,7	1,7	2,7		
E8	2,1	3,1	4,1	1,4	2,4	3,4	1,0	2,0	3,0	2,3	3,3	4,3	0,4	1,4	2,4	2,0	3,0	4,0	1,7	2,7	3,7	1,5	2,5	3,5	0,7	1,7	2,7		
E9	1,8	2,8	3,8	1,0	2,0	3,0	1,3	2,3	3,3	0,7	1,7	2,7	0,4	1,4	2,4	1,0	2,0	3,0	0,3	1,3	2,3	0,5	1,5	2,5	0,0	1,0	2,0		
E10	1,6	2,6	3,6	2,0	3,0	4,0	0,8	1,8	2,8	0,7	1,7	2,7	0,0	1,0	2,0	1,3	2,3	3,3	0,7	1,7	2,7	1,3	2,3	3,3	0,0	1,0	2,0		
E11	3,1	4,1	5,1	3,0	4,0	5,0	3,5	4,5	5,5	3,3	4,3	5,3	2,6	3,6	4,6	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0		
E12	1,7	2,7	3,7	0,8	1,8	2,8	0,8	1,8	2,8	1,0	2,0	3,0	0,6	1,6	2,6	0,7	1,7	2,7	0,3	1,3	2,3	1,0	2,0	3,0	0,0	1,0	2,0		
E13	2,3	3,3	4,3	0,8	1,8	2,8	0,8	1,8	2,8	0,0	1,0	2,0	0,0	1,0	2,0	0,0	1,0	2,0	0,5	1,5	2,5	0,8	1,8	2,8	0,0	1,0	2,0		
E14	0,9	1,9	2,9	0,8	1,8	2,8	1,8	2,8	3,8	1,0	2,0	3,0	0,2	1,2	2,2	1,0	2,0	3,0	0,2	1,2	2,2	0,5	1,5	2,5	0,0	1,0	2,0		
E15	2,2	3,2	4,2	2,0	3,0	4,0	0,8	1,8	2,8	1,0	2,0	3,0	1,6	2,6	3,6	2,0	3,0	4,0	1,8	2,8	3,8	1,0	2,0	3,0	1,7	2,7	3,7		

Fonte: Elaboração própria.

### Determinação da solução ideal *fuzzy* positiva e negativa (FPIS e FNIS) e cálculo da distância para FPIS (D+) e para FNIS (D-).

A padronização foi feita através do cálculo apresentado na equação (4.3), mostrada no capítulo 4. Assim, após a padronização, foram aplicados à matriz padronizada os pesos calculados na Fase I.

Com os valores padronizados e calibrados *fuzzy*, foram calculadas as distâncias entre esses dados e as soluções ideal *fuzzy* positiva e negativa, que são os valores máximos e mínimos de cada subcritério respectivamente.

Na sequência, foram geradas as matrizes de distâncias  $V^+$  e  $V^-$ , por meio das equações 4.6 e 4.7 respectivamente. Os resultados são apresentados nas Tabelas 5.18 e 5.19. O somatório das linhas/MPMEs formam a distância positiva e negativa de cada empresa, mostrada na última coluna das matrizes a seguir (Tabelas 5.18 e 5.19).

Tabela 5.18 – Matriz de distância total positiva

Empresas	Subcritérios									
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	D+
E1	0,13	0,11	0,02	0,06	0,01	0,06	0,03	0,04	0,10	0,55
E2	0,24	0,20	0,04	0,10	0,02	0,13	0,05	0,06	0,10	0,94
E3	0,12	0,16	0,02	0,08	0,02	0,06	0,03	0,07	0,10	0,67
E4	0,20	0,16	0,03	0,10	0,02	0,19	0,02	0,03	0,10	0,84
E5	0,13	0,13	0,03	0,06	0,02	0,06	0,03	0,04	0,10	0,60
E6	0,19	0,22	0,04	0,08	0,01	0,11	0,03	0,05	0,10	0,84
E7	0,15	0,10	0,05	0,11	0,02	0,07	0,03	0,03	0,10	0,67
E8	0,15	0,16	0,04	0,05	0,03	0,08	0,02	0,04	0,10	0,68
E9	0,19	0,20	0,04	0,11	0,03	0,13	0,04	0,06	0,10	0,90
E10	0,21	0,11	0,05	0,11	0,03	0,11	0,04	0,04	0,10	0,81
E11	0,13	0,09	0,02	0,04	0,01	0,06	0,01	0,03	0,10	0,49
E12	0,20	0,22	0,05	0,10	0,02	0,15	0,04	0,05	0,10	0,93
E13	0,14	0,22	0,05	0,14	0,03	0,19	0,04	0,05	0,10	0,95
E14	0,30	0,22	0,03	0,10	0,03	0,13	0,05	0,06	0,10	1,01
E15	0,14	0,11	0,05	0,10	0,01	0,08	0,02	0,05	0,10	0,66

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.19 – Matriz de distância total negativa

Empresas	Subcritérios									
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	D-
E1	0,28	0,13	0,04	0,08	0,03	0,17	0,02	0,03	0,02	0,81
E2	0,12	0,08	0,02	0,05	0,01	0,07	0,01	0,03	0,03	0,42
E3	0,24	0,09	0,03	0,06	0,01	0,19	0,02	0,03	0,02	0,69
E4	0,14	0,09	0,02	0,05	0,01	0,06	0,03	0,05	0,02	0,47
E5	0,21	0,11	0,02	0,08	0,02	0,15	0,02	0,03	0,02	0,67
E6	0,14	0,09	0,02	0,06	0,02	0,08	0,02	0,03	0,02	0,48
E7	0,17	0,14	0,02	0,04	0,01	0,13	0,02	0,04	0,02	0,61
E8	0,17	0,09	0,02	0,10	0,01	0,11	0,03	0,04	0,02	0,59
E9	0,14	0,08	0,02	0,04	0,01	0,07	0,01	0,03	0,03	0,43
E10	0,13	0,13	0,02	0,04	0,01	0,08	0,01	0,03	0,03	0,48
E11	0,30	0,22	0,05	0,14	0,03	0,17	0,05	0,07	0,02	1,04
E12	0,14	0,09	0,02	0,05	0,01	0,06	0,01	0,03	0,03	0,44
E13	0,20	0,09	0,02	0,04	0,01	0,06	0,01	0,03	0,03	0,48
E14	0,13	0,09	0,02	0,05	0,01	0,07	0,01	0,03	0,03	0,44
E15	0,19	0,13	0,02	0,05	0,02	0,11	0,03	0,03	0,02	0,60

Fonte: Elaboração própria.

### Determinação da proximidade relativa do valor ideal

A proximidade relativa à solução ideal *fuzzy* é calculada por meio das distâncias totais positivas e negativas, e é denominada de coeficiente de

proximidade (*CCi*). Este será apresentado na Tabela 5.20 e representa o índice de capacidade inovativa de cada MPME.

### Ordenação final de MPMEs

Uma vez calculados os coeficientes de cada MPME, pode-se realizar a ordenação decrescente, criando-se um *ranking* das empresas quanto ao seu respectivo índice de capacidade inovativa. O *ranking* final é mostrado na Tabela 5.20, a seguir.

Tabela 5.20 – Ranking das MPMEs pelo Índice de Capacidade Inovativa (ICI)

Empresas	Distâncias		CCi		Ranking Final	
	D-	D+	Score (ICI)	Posição	Ranking	Empresas
E1	0,8094	0,5542	0,5936	2	1	E11
E2	0,4203	0,9352	0,3100	14	2	E1
E3	0,6887	0,6674	0,5079	4	3	E5
E4	0,4693	0,8400	0,3584	10	4	E3
E5	0,6670	0,6033	0,5251	3	5	E7
E6	0,4828	0,8385	0,3654	9	6	E15
E7	0,6083	0,6656	0,4775	5	7	E8
E8	0,5905	0,6764	0,4661	7	8	E10
E9	0,4316	0,8964	0,3250	12	9	E6
E10	0,4849	0,8071	0,3753	8	10	E4
E11	1,0351	0,4876	0,6798	1	11	E13
E12	0,4352	0,9283	0,3192	13	12	E9
E13	0,4850	0,9508	0,3378	11	13	E12
E14	0,4376	1,0117	0,3019	15	14	E2
E15	0,5962	0,6626	0,4736	6	15	E14

Fonte: Elaboração própria.

Para melhor visualização, esta ordenação é apresentada na Figura 5.3, que ressalta o maior *score* do Coeficiente de Proximidade (*CCi*), que é o da empresa 11, com 0,6798, seguida pela empresa 1, com 0,593. Esses resultados mostram que essas duas estão mais próximas do valor ideal, em comparação às demais MPMEs analisadas. Por outro lado, o pior resultado encontrado é o da empresa 14, com 0,3019, que significa que esta está mais distante do valor ideal, em comparação às demais empresas.

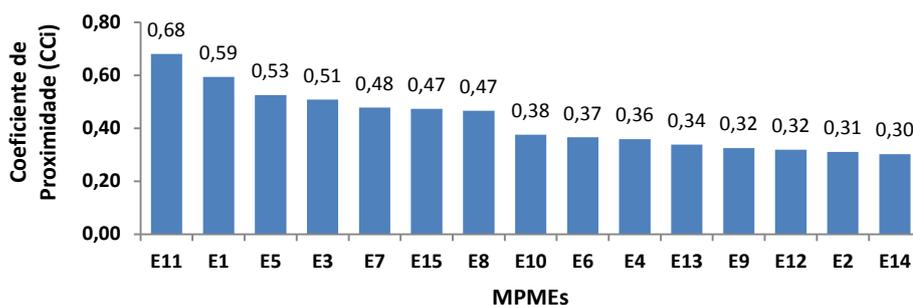


Figura 5.3 – *Ranking* final das MPMEs segundo o Índice de Capacidade Inovativa (ICI)

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 5.3 revela que sete empresas se encontram acima da média aritmética 0,428, com um desvio padrão de 0,115. Para descartar a dúvida da presença de dados *outliers* ou fora do padrão da amostra, gerou-se um gráfico de *box-plot*, como mostra a Figura 5.4. Por meio do cálculo de primeiro e terceiro quartil da amostra e a amplitude interquartílica, estabeleceram-se os limites inferiores e superiores e, assim, verificou-se que não havia dados fora do padrão nesta amostra.

Além disso, contextualizando-se esses resultados às MPMEs do Programa NAGI PUC-Rio, nota-se que as empresas E11 e E1 estão mais desenvolvidas quanto à capacidade inovativa, ou seja, já adotam muitas das boas práticas consideradas no instrumento de pesquisa (Apêndice 1). Por outro lado, percebe-se que, para as empresas E14, E2, E12, E9 e E13, deverá ser dedicada maior atenção quanto à adoção das boas práticas de gestão de inovação para que consigam alcançar níveis superiores de capacidade inovativa em relação à situação atual.

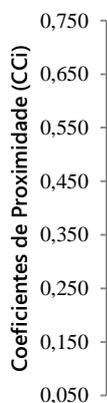


Figura 5.4 – *Box-plot ranking* final do índice de capacidade inovativa das MPMEs

Tabela 5.21 – Estatística descritiva do índice de capacidade inovativa

Estatística descritiva	
Média Aritmética	0,428
Desvio Padrão	0,115
Máximo	0,680
3º Quartil	0,493
Mediana	0,375
1º Quartil	0,331
Mínimo	0,302
Limite Superior	0,735
Amplitude Interquartilica	0,161
Limite Inferior	0,089

Fonte: Elaboração própria.

Considerando outro contexto, se o enfoque fosse financeiro, e considerasse que a capacidade inovativa de uma empresa está diretamente correlacionada a sua sustentabilidade, ou seja, sua prospecção de saúde financeira a longo prazo e retornos futuros. E, ainda, a pergunta fosse: Quais empresas com capacidade de serem mais inovadoras se deve investir? A resposta estaria nas primeiras empresas E11, E1 e E5, sendo estas um investimento mais seguro entre as MPMEs, em contrapartida as empresas E14, E2, E12, E9 e E13 apresentariam maior risco de investimento, tendo assim, probabilidade maior de não ter o retorno esperado.

### Variante 2

Para aplicação da Variante 2, é necessário retornar ao passo “Criação de matrizes *fuzzy* de avaliação usando o conjunto de termos linguísticos *fuzzy*”. Para tal, uma nova matriz de decisão foi gerada, utilizando-se os valores dos números triangulares *fuzzy* correspondentes a variante 2 (Ver Tabela 4.3).

A Variante 2 refere-se ao conjunto *fuzzy*, formado por triângulos de tamanhos distintos, ampliando-se a incerteza dentro dos triângulos dos termos centrais. Essa incerteza foi percebida durante a fase de coleta de dados, quando os respondentes demonstravam dúvidas e insegurança ao apontar o nível de maturidade das empresas em relação às 42 práticas de gestão da inovação.

A subjetividade e imprecisão foram representadas pelos termos linguísticos centrais relacionados a números triangulares *fuzzy* maiores, ou seja, a base ou suporte das funções de pertinência triangulares centrais foram maiores que as funções de pertinência triangulares dos termos linguísticos extremos. E ainda,

nesta Variante 2 foram mantidos os valores extremos da escala Likert “1” e “5”, como os extremos máximos para este conjunto de funções de pertinência.

Desta forma, como apresentado na Tabela 4.3, a base/suporte triangular dos termos extremos 1 e 5, passa a ter base/suporte de 1. Os termos linguísticos 2 e 4 passam a ser 2,5, enquanto que o termo central ganha maior amplitude com suporte de 3.

Em seguida, a matriz de decisão *fuzzy* das empresas *versus* seus subcritérios foi padronizada, conforme equação (4.4), e os pesos gerados na Fase I foram novamente aplicados (Tabela 5.22). Com a matriz padronizada e calibrada, foram calculadas as distâncias euclidianas desta matriz às soluções ideais positivas e negativas. Essas são apresentadas nas Tabelas 5.23 e 5.24.

Tabela 5.22 – Matriz de decisão *fuzzy* das empresas *versus* seus subcritérios – Variante 2

Empresas	Subcritério																										
	SC1			SC2			SC3			SC4			SC5			SC6			SC7			SC8			SC9		
	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m	n	l	m	n
E1	2,6	4,0	4,9	1,7	3,0	4,3	2,6	4,0	4,9	1,7	3,0	4,3	2,4	3,8	4,8	2,5	4,0	5,0	1,3	2,5	4,0	1,5	2,3	3,4	1,5	2,0	3,0
E2	1,2	2,3	3,8	1,0	2,0	3,5	1,5	2,3	3,4	1,0	2,0	3,5	1,0	1,8	3,2	1,2	2,0	3,3	1,0	1,2	2,3	1,1	1,5	2,6	1,0	1,0	2,0
E3	2,2	3,7	4,8	1,2	2,4	3,9	1,8	3,3	4,6	1,3	2,3	3,7	1,2	2,2	3,6	3,0	4,3	5,0	1,4	2,5	3,8	1,0	1,0	2,0	1,0	1,7	3,0
E4	1,4	2,7	4,1	1,2	2,4	3,9	1,6	3,0	4,4	1,2	2,0	3,3	1,2	2,2	3,6	1,0	1,0	2,0	1,6	2,7	3,9	1,6	3,0	4,4	1,5	2,3	3,5
E5	2,2	3,4	4,5	1,5	2,8	4,2	1,4	2,5	3,9	1,5	3,0	4,5	1,2	2,4	3,9	2,5	3,7	4,5	1,2	2,0	3,3	1,1	2,3	3,8	1,0	1,7	3,0
E6	1,4	2,8	4,2	1,1	1,8	3,1	1,3	2,3	3,6	1,5	2,3	3,5	1,5	2,8	4,2	1,2	2,3	3,8	1,1	2,2	3,7	1,1	1,8	3,0	1,2	2,0	3,3
E7	1,7	3,1	4,5	1,7	3,2	4,6	1,0	1,8	3,1	1,0	1,7	3,0	1,2	1,8	3,0	1,8	3,3	4,7	1,3	2,0	3,3	1,5	2,8	4,1	1,2	1,7	2,8
E8	1,8	3,1	4,3	1,4	2,4	3,7	1,3	2,0	3,3	2,0	3,3	4,5	1,0	1,4	2,6	1,7	3,0	4,3	1,4	2,7	4,1	1,8	2,5	3,5	1,0	1,7	3,0
E9	1,5	2,8	4,2	1,2	2,0	3,3	1,5	2,3	3,4	1,2	1,7	2,8	1,0	1,4	2,6	1,0	2,0	3,5	1,1	1,3	2,4	1,1	1,5	2,6	1,0	1,0	2,0
E10	1,6	2,6	3,8	1,7	3,0	4,3	1,1	1,8	3,0	1,2	1,7	2,8	1,0	1,0	2,0	1,5	2,3	3,5	1,2	1,7	2,8	1,4	2,3	3,5	1,0	1,0	2,0
E11	2,8	4,1	4,9	2,6	4,0	4,9	3,4	4,5	4,9	3,2	4,3	4,8	2,2	3,6	4,7	2,7	4,0	4,8	2,7	4,0	4,8	2,8	4,0	4,8	2,7	4,0	4,8
E12	1,6	2,7	3,9	1,1	1,8	3,1	1,1	1,8	3,0	1,2	2,0	3,3	1,1	1,6	2,8	1,2	1,7	2,8	1,0	1,3	2,5	1,0	2,0	3,5	1,0	1,0	2,0
E13	1,9	3,3	4,6	1,1	1,8	3,1	1,1	1,8	3,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,5	2,8	1,4	1,8	2,8	1,0	1,0	2,0
E14	1,1	1,9	3,2	1,1	1,8	3,1	1,6	2,8	4,0	1,2	2,0	3,3	1,0	1,2	2,3	1,2	2,0	3,3	1,0	1,2	2,3	1,0	1,5	2,8	1,0	1,0	2,0
E15	1,8	3,2	4,6	1,6	3,0	4,4	1,1	1,8	3,0	1,2	2,0	3,3	1,5	2,6	3,9	1,7	3,0	4,3	1,5	2,8	4,3	1,1	2,0	3,4	1,5	2,7	4,0

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.23 – Matriz de distância total positiva

Empresas	Subcritérios									
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	D+
E1	0,09	0,08	0,02	0,04	0,00	0,03	0,02	0,04	0,10	0,43
E2	0,21	0,17	0,04	0,07	0,02	0,12	0,05	0,06	0,10	0,84
E3	0,08	0,13	0,02	0,06	0,01	0,04	0,02	0,08	0,10	0,55
E4	0,17	0,13	0,02	0,08	0,01	0,19	0,02	0,02	0,10	0,74
E5	0,11	0,10	0,03	0,03	0,01	0,05	0,03	0,03	0,10	0,48
E6	0,15	0,21	0,03	0,07	0,01	0,09	0,02	0,05	0,10	0,73
E7	0,11	0,06	0,04	0,09	0,02	0,04	0,03	0,02	0,10	0,53
E8	0,13	0,14	0,04	0,03	0,03	0,06	0,02	0,04	0,10	0,57
E9	0,16	0,18	0,04	0,10	0,03	0,11	0,04	0,06	0,10	0,82
E10	0,20	0,08	0,04	0,10	0,03	0,10	0,04	0,04	0,10	0,74
E11	0,11	0,07	0,02	0,03	0,00	0,04	0,01	0,02	0,10	0,39
E12	0,19	0,21	0,04	0,08	0,02	0,14	0,04	0,04	0,10	0,87
E13	0,10	0,21	0,04	0,14	0,03	0,19	0,04	0,06	0,10	0,91
E14	0,29	0,21	0,02	0,08	0,03	0,12	0,05	0,06	0,10	0,95
E15	0,10	0,08	0,04	0,08	0,01	0,06	0,01	0,04	0,10	0,53

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.24 – Matriz de distância total positiva

Empresas	Subcritérios									
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	D-
E1	0,28	0,13	0,04	0,11	0,03	0,19	0,03	0,04	0,03	0,88
E2	0,13	0,08	0,02	0,07	0,01	0,09	0,01	0,02	0,03	0,46
E3	0,25	0,10	0,04	0,08	0,02	0,19	0,03	0,02	0,03	0,74
E4	0,16	0,10	0,03	0,07	0,02	0,04	0,03	0,06	0,03	0,53
E5	0,21	0,12	0,02	0,11	0,02	0,16	0,02	0,05	0,03	0,75
E6	0,17	0,06	0,02	0,07	0,02	0,11	0,03	0,03	0,03	0,54
E7	0,20	0,16	0,02	0,05	0,01	0,16	0,02	0,06	0,03	0,72
E8	0,18	0,08	0,02	0,12	0,01	0,14	0,03	0,04	0,03	0,65
E9	0,16	0,06	0,02	0,05	0,01	0,10	0,01	0,02	0,03	0,45
E10	0,12	0,13	0,02	0,05	0,00	0,10	0,01	0,04	0,03	0,50
E11	0,28	0,21	0,04	0,14	0,03	0,18	0,05	0,08	0,02	1,03
E12	0,13	0,06	0,02	0,07	0,01	0,06	0,01	0,04	0,03	0,43
E13	0,22	0,06	0,02	0,03	0,00	0,04	0,01	0,02	0,03	0,44
E14	0,11	0,06	0,03	0,07	0,01	0,09	0,01	0,02	0,03	0,41
E15	0,21	0,14	0,02	0,07	0,02	0,14	0,03	0,04	0,02	0,70

Fonte: Elaboração própria.

A proximidade relativa à solução ideal *fuzzy* foi calculada por meio das distâncias totais positivas e negativas. Por fim, os coeficientes de proximidades

(CCi) foram gerados e ordenados. Estes são os resultados finais, apresentados na Tabela 5.25.

Tabela 5.25 – Resultados Finais do Índice de Capacidade Inovativa (ICI) das MPMEs participantes do Programa NAGI-PUC-Rio em 2015

Empresas	Distâncias		CCi		Ranking Final	
	D-	D+	Score (ICI)	Posição	Ranking	Empresas
E1	0,8798	0,4267	0,6734	2	1	E11
E2	0,4603	0,8376	0,3546	12	2	E1
E3	0,7445	0,5468	0,5766	4	3	E5
E4	0,5255	0,7396	0,4154	9	4	E3
E5	0,7485	0,4832	0,6077	3	5	E7
E6	0,5430	0,7332	0,4255	8	6	E15
E7	0,7152	0,5258	0,5763	5	7	E8
E8	0,6529	0,5736	0,5323	7	8	E6
E9	0,4514	0,8197	0,3551	11	9	E4
E10	0,5029	0,7442	0,4033	10	10	E10
E11	1,0281	0,3877	0,7262	1	11	E9
E12	0,4282	0,8696	0,3299	13	12	E2
E13	0,4403	0,9063	0,3270	14	13	E12
E14	0,4146	0,9541	0,3029	15	14	E13
E15	0,7007	0,5273	0,5706	6	15	E14

Os resultados gerados segundo a Variante 2 mostraram que as empresas E11, E1 e E5 se encontram nas primeiras posições do *ranking*, sendo respectivamente empresas de desenvolvimento de software e processamento de dados; serviços de engenharia; e de pesquisa de mercado.

No entanto, nas três últimas posições estão as empresas E12, E13 e E14, respectivamente dos setores de distribuição de alimentos; serviços *online*; e design e decoração de interiores. A empresa E13 aparece na penúltima posição, diferente da posição no *ranking* da Variante 1 (11<sup>a</sup> posição).

## 5.5

### Análise comparativa dos métodos: diferenciais do modelo proposto em relação às práticas correntes

Como mencionado anteriormente, o modelo híbrido *fuzzy* AHP-TOPSIS, proposto nesta dissertação, apresenta diversos benefícios em relação aos métodos comumente praticados, a saber:

- O modelo considera a estrutura hierárquica e multidimensional do instrumento de pesquisa (Apêndice 1);

- Permite atribuir pesos, de acordo com a importância de cada dimensão e tema, ou seja, cada nível hierárquico;
- O modelo leva em consideração a complexidade, subjetividade e incerteza, sendo essas características intrínsecas ao processo de mensuração e avaliação da capacidade inovativa.

Essas três características implicam que este modelo está mais de acordo com o objetivo de mensuração e avaliação da capacidade inovativa das MPMEs do que as demais alternativas metodológicas aqui apresentadas.

O método AHP permite estabelecer os pesos e, a partir desses, obter apenas *rankings* de critérios e subcritérios separados e não um *ranking* total. Já o método integrado AHP-TOPSIS não leva em consideração o fator de incerteza e intangibilidade da mensuração da capacidade inovativa das MPMEs.

Contudo, apesar das diferenças dos valores dos índices, os métodos AHP-TOPSIS e *fuzzy* AHP-TOPSIS V1 fornecem o mesmo *ranking* de MPMEs, ou seja, os números triangulares *fuzzy* atribuídos à Variante 1 não traduzem adequadamente a incerteza atribuída a este contexto. Por sua vez, os métodos AHP-TOPSIS e *fuzzy* AHP-TOPSIS V2, nos quais são considerados os maiores graus de incertezas dos termos linguísticos centrais, apresentam diferenças nas últimas posições. As diferenças e similaridades encontradas nos *rankings* das cinco abordagens metodológicas são mostradas na Tabela 5.26.

Tabela 5.26 – Comparativo dos *rankings* das três alternativas metodológicas

Média		AHP		AHP-TOPSIS		Fuzzy AHP-TOPSIS (V1)		Fuzzy AHP-TOPSIS (V2)	
Ranking	Empresas	Ranking	Empresas	Ranking	Empresas	Ranking	Empresas	Ranking	Empresas
1	E11	1	E11	1	E11	1	E11	1	E11
2	E1	2	E1	2	E1	2	E1	2	E1
3	E5	3	E3	3	E5	3	E5	3	E5
4	E15	4	E5	4	E3	4	E3	4	E3
5	E3	5	E15	5	E7	5	E7	5	E7
6	E8	6	E7	6	E15	6	E15	6	E15
7	E4	7	E8	7	E8	7	E8	7	E8
8	E7	8	E4	8	E10	8	E10	8	E6
9	E6	9	E6	9	E6	9	E6	9	E4
10	E10	10	E10	10	E4	10	E4	10	E10
11	E12	11	E9	11	E13	11	E13	11	E9
12	E9	12	E13	12	E9	12	E9	12	E2
13	E2	13	E2	13	E12	13	E12	13	E12
14	E13	14	E12	14	E2	14	E2	14	E13
15	E14	15	E14	15	E14	15	E14	15	E14

Fonte: Elaboração própria.

Observando-se os resultados apresentados na Tabela 5.26, nota-se que, apesar de não existir diferença entre os resultados da hierarquização das empresas pelo método AHP-TOPSIS e pelo modelo *Fuzzy* AHP-TOPSIS Variante 1, há diferença entre os resultados gerados pelo método AHP-TOPSIS e pelo modelo *Fuzzy* AHP-TOPSIS V2, a partir da sétima colocada.

Evidencia-se, assim, a importância de se estabelecer com o devido cuidado os pesos dos critérios e subcritérios, bem como os números *fuzzy*, relacionados ao objetivo da tomada de decisão e avaliação. Ademais, as evidências reportadas nesta dissertação enfatizam as infinitas possibilidades que os conjuntos *fuzzy* têm em representar e capturar as incertezas e subjetividade inerentes à mensuração e avaliação da capacidade inovativa de empresas, em geral, e em particular de MPMEs.

## 5.6 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo, discutiram-se os resultados do estudo empírico realizado junto a 15 MPMEs participantes do Programa NAGI da PUC-Rio em 2015, demonstrando-se o potencial de aplicação do modelo proposto no capítulo 4. Todas as empresas da amostra contribuíram para a pesquisa, respondendo ao instrumento por completo e participando do ciclo de entrevistas com o pesquisador e sua orientadora. Os resultados obtidos no estudo empírico foram comparados com aqueles gerados pela aplicação de métodos consagrados de apoio à decisão, que não são combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*.

No contexto do Programa NAGI PUC-Rio, os resultados apontam as empresas com maiores e menores necessidades quanto à adoção e desenvolvimento das boas práticas da gestão de inovação e oferecem aos gestores a indicação de ações voltadas para o fortalecimento da capacidade inovativa de suas empresas.

O modelo *fuzzy* AHP-TOPSIS para mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs foi aplicado segundo duas variantes. A Variante 1, com maior simetria e mesmo suporte nos números triangulares *fuzzy* em questão, apresentou grande diferença no *ranking* de empresas com maior capacidade inovativa ao método inicial por médias e método AHP, contudo, grande similaridade foi observada quanto à ordenação estabelecida pelo método

amplamente difundido AHP-TOPSIS. Já em um segundo momento, a Variante 2 considerou as respostas centrais com maior grau de incerteza, evidenciando que as empresas com menor coeficiente de proximidade mudaram seu posicionamento em comparação ao modelo na Variante 1, com números triangulares *fuzzy* de mesmo formato.

## 6 Conclusões e recomendações

A presente pesquisa contribuiu para o avanço do conhecimento sobre mensuração e avaliação da capacidade inovativa (CI) de empresas, aplicando-se métodos multicritério de apoio à decisão combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*. Nesse sentido, um modelo conceitual e respectivo instrumento de diagnóstico e mensuração da capacidade inovativa de micro, pequenas e médias empresas (MPMEs) foram desenvolvidos e aplicados junto a 15 empresas participantes do Programa NAGI-PUC-Rio. Os resultados obtidos ao longo da pesquisa aqui relatada permitiram que o objetivo geral da dissertação fosse alcançado, qual seja: “propor um modelo para monitorar e avaliar a capacidade inovativa de MPMEs, com o auxílio de métodos multicritério de apoio à decisão combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*”.

As abordagens conceituais e metodológicas discutidas nos capítulos 2 e 3 fundamentaram o desenvolvimento do referido modelo, contribuindo de forma significativa para que três dos objetivos específicos da dissertação fossem alcançados.

Com relação ao primeiro e segundo objetivos específicos – “discutir a importância de se mensurar e avaliar a CI das empresas em geral e, em particular, das MPMEs” e “identificar e analisar os modelos que vêm sendo adotados para mensurar e avaliar a capacidade inovativa de MPMEs”, os resultados da revisão bibliográfica sobre mensuração da capacidade inovativa, abrangendo o período de 1990 a 2016, revelaram que a maioria das abordagens propostas baseia-se na avaliação de uma multiplicidade de elementos, que conferem a esse tema mais complexidade do que a análise simples de alguns fatores isolados (Bell; Pavitt, 1993; Biggs; Shah; Srivastava, 1995; Leonard-Barton, 1998; Figueiredo, 2005; Jonker; Romijn; Szirmai, 2006; Koc e Ceylan, 2007; Rejeb et al., 2008; Unsal e Cetindamar, 2015). De fato, a avaliação da capacidade inovativa de uma empresa associa-se a uma hierarquia complexa, o que exige uma análise simultânea de

múltiplos critérios quantitativos e qualitativos (Hwang e Yoon, 1981; Lawson e Samson, 2001; Guan et al., 2006; Wang et al., 2008; Zawislak, 2012).

Essa revisão permitiu ainda concluir que o uso de modelos multicritério *fuzzy* para medir a capacidade inovativa de empresas, em geral, ainda é escasso. Focalizando-se, particularmente, na mensuração da CI de MPMEs, identificaram-se alguns autores, como Akman e Yilmaz (2008), Rejeb et al. (2008), Boly et al. (2014), Sepúlveda e Vasquez (2014), Rey (2014) e Jiménez e Fuentes (2015), que propuseram modelos de mensuração com suporte de métodos multicritério de apoio à decisão, sem contudo, combiná-los com a teoria de conjuntos *fuzzy*. Foi essa a lacuna identificada na literatura que motivou o desenvolvimento da pesquisa, visando aprofundar o conhecimento sobre mensuração e avaliação da CI de empresas, em geral, e, em particular, de MPMEs.

O terceiro objetivo – “desenvolver um modelo para a mensuração e avaliação da capacidade inovativa de MPMEs, com base na integração de dois métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão – *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) e *Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (FTOPSIS) – foi plenamente atingido, como reportado no capítulo 4. Concebeu-se um modelo integrado *fuzzy* AHP TOPSIS, que considera a complexidade, subjetividade e incerteza como características inerentes à mensuração da capacidade inovativa de MPMEs e permite que tais empresas possam se auto avaliar, individualmente, e se comparar com suas congêneres (análise de MPMEs em nível local, regional, nacional ou setorial).

Os resultados do estudo empírico abrangendo 15 MPMEs participantes do Programa NAGI-PUC-Rio permitiram demonstrar na prática a aplicabilidade do modelo de mensuração e avaliação da CI no contexto desse segmento, atingindo-se assim o quarto objetivo específico da dissertação. Esses resultados evidenciaram os seguintes diferenciais do modelo proposto em relação às práticas correntes reportadas na literatura: (i) o grande número de boas práticas abordadas e avaliadas no modelo de diagnóstico pode ser considerado em sua totalidade, assim como sua interdependência. Permitiram construir indicadores compostos e índices da capacidade inovativa, segundo três dimensões – ‘Governança e organização’; ‘Pessoas’ e ‘Processos’; (ii) foram considerados os julgamentos de especialistas do Instituto Gênese e do Programa Pós-MQI da PUC-Rio quanto à

importância/preferência de cada critério e subcritério de mensuração/avaliação; (iii) a abrangência das funções de pertinência no ambiente da lógica *fuzzy* corroboram para a mitigação do risco à tomada de decisão, enfrentado pelos gestores diante da avaliação dos índices da capacidade inovativa ; (iv) a lógica *fuzzy* tornou o modelo desenvolvido mais realístico para avaliar as empresas no contexto de apoio à tomada de decisão, quando comparado aos métodos consagrados empregados individualmente.

Para trabalhos futuros de desdobramento da pesquisa e aprofundamento dos resultados, propõem-se:

- Ampliação da amostra, por meio da aplicação do instrumento de diagnósticos às outras empresas dos próximos ciclos do Programa NAGI-PUC-Rio;
- Aplicação deste questionário de avaliação em todos os Programas NAGI do Brasil, para comparação regional;
- Com uma amostra maior, análises estatísticas poderão ser feitas, principalmente buscando-se a correlação entre a capacidade inovativa e o desempenho inovador das empresas, bem como poderia ser estudado o impacto de cada tema ou dimensão quanto ao desempenho desta. Assim como análises multivariadas, segmentando e analisando as MPMEs em conglomerados;
- Monitoramento da capacidade inovativa das MPMEs ao longo do tempo;
- Elaboração e comparação de novos métodos híbridos de lógica *fuzzy* e métodos multicritérios como *fuzzy* ANP, ELECTRE, PROMETHEE, VIKOR, dentre outros;
- Investigação de novas formas de utilizar diferentes funções de pertinência como trapezoidal e gaussiana, ao invés de Números *Fuzzy* Triangular (TFN);
- Estabelecimento do grau de importância das práticas que compõem os temas, ampliando-se em mais um nível a hierarquia no modelo AHP, que poderá fornecer novos cenários, em função da opinião/julgamento dos especialistas;

Pelos aspectos descritos e resultados gerados na fase aplicada da pesquisa, considera-se que o modelo de mensuração e avaliação da CI concebido para as

necessidades de MPMEs poderá, em um primeiro nível, ser adotado pelo Instituto Genesis da PUC-Rio, no âmbito de seu Programa NAGI-PUC-Rio. Acredita-se que o modelo de mensuração e avaliação da capacidade inovativa das MPMEs que participam deste Programa, bem como os indicadores compostos e índices resultantes de sua aplicação, poderão beneficiá-las de forma significativa, uma vez que terão em mãos uma ferramenta de monitoramento e avaliação de seus Planos de Gestão da Inovação, como definido na Chamada Pública MCTI-Finep 11/2010. As MPMEs poderão identificar seus pontos fortes e fracos em relação às 42 boas práticas consideradas no instrumento de pesquisa (Apêndice 1) e direcionar efetivamente seus esforços e recursos para o fortalecimento da CI e melhoria de seu desempenho inovador.

Em um segundo nível, os resultados aqui reportados poderão contribuir para a resolução de problemas empíricos enfrentados por gestores públicos responsáveis pela formulação, revisão e implantação de políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), especialmente a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). Para o Serviço Brasileiro de Apoio a Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) e para as MPMEs brasileiras interessadas em aprimorar seus processos de gestão da inovação e fortalecer suas capacidades inovativas, o ferramental aqui apresentado poderá apoiar os serviços prestados pelo Sebrae e os atuais processos decisórios referentes às estratégias de inovação de forma mais efetiva, conferindo-lhes diferenciais à adequação à tomada de decisão sob incerteza. E, finalmente, os gestores de parques tecnológicos e de ambientes de inovação, especialmente os associados da Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores (Anprotec), poderão aprimorar suas atuais práticas de monitoramento e avaliação da capacidade inovadora das empresas residentes e incubadas com o uso de métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão, como abordado nesta dissertação.

## Referências bibliográficas

ADAMS, R.; BESSANT, J.; PHELPS, R. Innovation management measurement: A review. *International Journal of Management Reviews*, v.8, p. 21-47, 2006.

ADLER, P. S.; SHENHAR, A. J. Adapting your technological base: the organizational challenge. *Sloan Management Review*, v.32, n. 1, p. 25-37, 1990.

AKMAN, G.; YILMAZ, C. Innovative capability, innovation strategy and market orientation: an empirical analysis in Turkish software industry. *International Journal of Innovation Management*, v.12, n. 1, p. 69-111, 2008.

ALMEIDA, A. T. *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. 1.ed. São Paulo: Editora Atlas S.A. 2013.

ANDREW, J. P.; SIRKIN, H., L.; HAANAES, K.; MICHAEL, D. C. Measuring Innovation 2007 – A BCG Senior Management Survey. Boston: *The Boston Consulting Group, Inc.*, 2007.

ARMBRUSTER, H.; BIKFALVIB, A.; KINKELA, S.; LAYA, G. Organizational innovation: the challenge of measuring non-technical innovation in large-scale surveys. *Technovation*, v.28, p. 644–657, 2008.

ARUNDEL, A.; HOLLANDERS, H. Searching the forest for the trees: “missing” indicators of innovation. *Trend Chart Methodology Report for the Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology (MERIT)*, 2006. Disponível em: <[http://trendchart.cordis.lu/scoreboards/scoreboard2006/pdf/eis\\_2006\\_methodology-report-missing\\_indicators.pdf](http://trendchart.cordis.lu/scoreboards/scoreboard2006/pdf/eis_2006_methodology-report-missing_indicators.pdf)>. Acesso em: 03 jun. 2016.

BELL, M.; PAVITT, K. *The development of technological capabilities*. In: Haque, I. U. (Ed.). *Trade, Technology and International Competitiveness*. Washington: World Bank, p. 60-101, 1995.

BIGGS, T.; SHAH, M.; SRIVASTAVA, P. Technological capabilities and learning in African enterprises. *Technical Paper*, Washington: World Bank, v. 288, 1995.

BOLY, V.; MOREL, L.; ASSIELOU, N. G.; CAMARGO, M. Evaluating innovative processes in French firms: methodological proposition for firm innovation capacity evaluation. *Research Policy*, v.43, p.608-622, 2014.

BRAGA, M. J. E.; BARRETO, J. M.; SOARES, M. A. *Conceitos da matemática nebulosa na análise de risco*. Rio de Janeiro: Artes & Rabiskus. 1995.

CETINDAMAR, D.; PHAAL, R.; PROSTRE, D. Understanding technology management as a dynamics capability: A framework for technology management activities. *Technovation*, v. 29, p. 237-246, 2009.

CHENG, Y.-L.; LIN, Y.-H. Performance evaluation of technological innovation capabilities in uncertainty. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, v. 40, p. 287-314, 2012.

CHAUDHRY, B.; VERMA, P. K. Technological innovation capabilities: a critical review. *IJLTEMAS*, v. V, n. IV, p. 85-101, 2016.

CHIESA, V.; COUGHLAN, P.; VOSS, C. A. Development of a technical innovation audit. *Journal of Product Innovation Management*, v.13, p. 105–136, 1996.

CHIESA, V.; FRATTINI, F.; LAZZAROTTI, V.; MANZINI, R. Designing a performance measurement system for the research activities: a reference framework and an empirical study. *Journal of Engineering and Technology Management*, 25, 213–226, 2008.

CHOUDARY, D; SHANKAR, R. An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India. *Energy*, v.42, p. 510-521, 2012.

CROSSAN, M. M.; APAYDIN, M. A multi-dimensional framework of organizational innovation: a systematic review of the literature. *Journal of Management Studies*, v. 47, n.6, p.15 – 18, 2010.

DESS, G. G.; PICKEN, J. C. Changing roles: leadership in the 21st century. *Organizational Dynamics*, v. 28, issue 3, p. 18–34, 2000.

DE MORI, C.; BATALHA, M. O.; ALFRANCA, O. Capacidade tecnológica: proposição de índice e aplicação de empresas do complexo agroindustrial. *Production*, v. 24, n. 4, p. 787-808, 2014.

DOROODIAN, M; RAHMAN, M. N. A.; KAMARULZAMAN, Y.; MUHAMAD, N. Designing and validating a model for measuring innovation capacity construct. *Advances in Decision Sciences*, v. 2014, p. 1-11, 2014.

DRUCKER, P. F. *Management challenges for the 21st century*. Oxford: Butterworth-Heinemann. 1999.

EKUOBASE, G. O.; OLUTAYO, V. A. Fuzzy analytical hierarchical process model and ICT maturity model of SMES for ICT maturity measurement of Nigerian service firms. *African Journal of Computing & ICT*, v. 8, n. 3, p. 141-154, 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO COMÉRCIO, BENS, SERVIÇOS E TURISMO. *Empresômetro MPE*. Disponível em: <<http://www.empresometro.cnc.org.br/>>. Acesso em: 03 jun. 2016.

ENJOLRAS, M.; GALVEZ, D.; CAMARGO, M.; MOREL, L. Proposal of a methodology to elicit maturity curves: application to innovation and protection capabilities of SMEs. Lorraine: *L'Institut National Polytechnique de Lorraine*. 2014.

ESCRIBÁ-ESTEVE, A.; SÁNCHEZ-PEINADO, L.; SÁNCHEZ-PEINADO, E. The influence of top management teams in the strategic orientation and performance of small and medium sized enterprises. *British Journal of Management*, v. 20, p. 581-597, 2009.

EUNNI, R. V., BRUSH, C. G., KASUGANTI, R. R. SMEs in emerging markets - an overview. *International Journal of Emerging Markets*, v. 2, n. 2, 2007.

FIGUEIREDO, P. N. Acumulação tecnológica e inovação industrial: conceitos, mensuração e evidências no Brasil. *São Paulo em Perspectiva*, v. 19, n. 1, p. 54-69, 2005.

GODET, M.; MONTI, R.; MEUNIER, F.; ROUBELAT, F. La boîte à outils de prospective stratégique. *Cahiers do LIPSOR*, n. 5, Paris: Laboratoire d'Investigation en Prospective, Stratégie et Organisation, 1997.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. *Tomada de decisão gerencial – enfoque multicritério*. 5.ed. São Paulo: Editora Atlas S.A. 2014.

GUAN, J. C.; YAM, R. C. M.; MOK, C. K.; MA, N. A study of the relationship between competitiveness and technological innovation capability based on DEA models. *European Journal of Operational Research*, v.170, n. 3, p.971-986, 2006.

GUAN J. C.; MA, N. Innovative capability and export performance of Chinese Firms. *Technovation*, v. 23, n.9, p.737-747, 2003.

GUPTA, A. *A study of metrics and measures to measure innovation at firm level & at national level*. Paris: Institut pour le Management de la Recherche et l'Innovation, 2009.

HAMEL, G.; PRAHALAD C. K. Competing for the Future. *Harvard Business Review*, July–August 1994, p. 56-69, 1994.

HARDAKER, J. B.; HUIME, R. B. M. A multi-attribute model to optimize sow replacement decisions. *European Review of Agricultural Economics*. n. 25, p. 488-505, 1998.

HWANG, C. L. YOON, K. *Multiple attribute decision making: methods and applications*. New York: Springer-Verlag, 1981.

JONKER, M.; ROMIJN, H.; SZIRMAI, A. Technological effort, technological capabilities and economic performance of the paper manufacturing sector in West. *Technovation*, v. 26, n. 1, p. 121-134, 2006.

KAUFMANN, A. *Introduction to theory of fuzzy subsets: fundamental theoretical elements*. New York: Academic Press, 1975.

KEARNEY, A.; HARRINGTON, D.; KELLIHER, F. Exploiting managerial capability for innovation in a micro-firm context. *European Journal of Training and Development*, v. 38, n. 1-2, p. 95-117, 2014.

KOC, T.; CEYLAN, C. Factors impacting the innovative capacity in large-scale companies. *Technovation*, v.27, p.105–115, 2007.

KOGUT, B.; ZANDER, U. Knowledge of the Firm, Combinative capabilities, and the replication of technology. *Organization Science*, v. 3, n. 3, p. 383-397, 1992.

KONG, F.; ZHANG, Z.; LIU, Y. *Study on the evaluation of technological innovation capability under uncertainty*. 2008. In: 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, p. 1-4, 2008.

KREJČÍ, J.; PAVLACKA, O.; TALASOVÁ, J. A fuzzy extension of analytic hierarchy process based on the constrained fuzzy arithmetic. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, p. 1-22, 2016.

KUAN, M.-J.; CHEN, Y.M. A hybrid MCDM framework combined with DEMATEL-based ANP to evaluate enterprise technological innovation capabilities assessment. *Decision Science Letters*, v.3, n.4, p. 491-502, 2014.

LAWSON, B.; SAMSON, D. Developing innovation capabilities in organizations: a dynamic capabilities approach. *International Journal of Innovation Management*, v. 5, n.3, p. 377-400, 2001.

LEONARD-BARTON, D. *Nascentes do saber: criando e sustentando as fontes de inovação*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, p. 367, 1998.

LIN, Y.-H.; TSENG, M.-L.; CHENG, Y.-L.; CHIU, A. S. F.; GENG, Y. Performance evaluation of technological innovation capabilities in uncertainty. *Academic Journals*, v.8, n.13, p. 501-514, 2013.

LUBATKIN, M. H.; SIMSEK, Z.; LING, Y.; VEIGA, J. F. Ambidexterity and performance in small- to medium-sized firms: The pivotal role of top management team behavioral integration. *Journal of Management*, v. 32, n. 5, p. 646–672, 2006.

MELLO, A. F. P. *Monitoramento e avaliação da regulamentação sobre recolhimento de alimentos no Brasil: proposição de indicadores e métricas*. 185p. Rio de Janeiro, 2015. Dissertação Pós Graduação Metrologia para Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica – Rio de Janeiro.

MONE, M. A.; MCKINLEY, W.; BARKER, V. L. Organizational decline and innovation: a contingency framework. *The Academy of Management Review*, v. 23. n. 1, p. 115-132, 1998.

NARANJO-VALENCIA, J. C.; JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, D.; SANZ-VALLE, R. ¿Es la cultura organizativa un determinante de la innovación em la empresa?. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, v. 15, p. 63-72, 2012.

NEELY, A.; ADAMS, C.; CROWE, P. The performance prism in practice. *Measuring Business Excellence*, v. 5, n. 2, p. 6-13, 2001.

NEMERY, P.; ISHIZAKA, A.; CAMARGO, M.; MOREL, L. Enriching descriptive information in ranking and sorting problems with visualizations techniques. *Journal of Modelling in Management*, v. 7, n.2, p. 130-147, 2012.

NESTA. Adams, R., Neely, A. Yaghi, B., Bessant, J. Proposal for measures of firm-level innovation performance in 12 sectors UK industry. *Innovation Index*, Working Paper. 2008.

NESTA. The Innovation Index – Measuring the UK’s investment in innovation and its effects. *Index Report: November*, 2009.

NEVES, M. C. *Capacidades e demandas tecnológicas de indústrias alimentícias da Baixada Cuiabana e o potencial de interação com as universidades matogrossenses*. Porto Alegre, 2000. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

NIJSSEN, E. J.; FRAMBACH, R. T. Determinants of the adoption of new product development tools by industrial firms. *Industrial Marketing Management*, v. 29, n. 2, p. 121-131, 2000.

PANDA, H.; RAMANATHAN, K. Technological capability assessment of a firm in the electricity sector. *Technovation*, v. 16, n. 10, p. 561-588, 1996.

PATIL, S.K., KANT, R. A Fuzzy AHP-TOPSIS framework for ranking the solutions of knowledge management adoption in supply chain to overcome its barriers. *Expert Systems with Applications*, v. 41, p. 679-693, 2014.

PEREZ, C. *Technological revolutions, paradigm shifts and socio-institutional change*. In: Reinert, E. (Ed.) *Globalization, economic development and inequality: An alternative perspective*. Cheltenham: Edward Elgar, p. 217-242, 2004.

PORTER, M. E., STERN, S. National innovative capacity. the global competitiveness report. *Harvard Business School*. p. 2–18, 2001.

RAMNATH, G. *Innovation in emerging market micro, small and medium enterprises: barriers and access to resources*. Arlington, 2012. 180p. Tese (Doutorado) – Philosophy - George Mason University.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. OECD. *Manual de Oslo: diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação*. 3.ed. Rio de Janeiro: FINEP, 2005.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. OECD. *Innovation in firms: a microeconomic perspective*. Paris: OECD, 2009.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. OECD. *Measuring innovation: a new perspective*. Paris: OECD, 2010.

RAN, R.; WANG, B.-J. Combining grey relational analysis and TOPSIS concepts for evaluating the technical innovation capability of high technology enterprises with fuzzy information. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, v.29, n.4, p. 1301-1309, 2015.

REJEB, H. B.; BOLY, V.; MOREL-GUIMARÃES, L.; ASSIELOU, N. G. Measuring innovation best practices: Improvement of an innovation index integrating threshold and synergy effects. *Technovation*, v. 28, p.838–854, 2008.

REY, J. C. R. *Croissance, innovation et gestion dans les petites et moyennes entreprises industrielles du Nord-Ouest de l'Argentine: un modèle relationnel quantitatif*. Nancy, 2014. Tese (Doutorado) - Equipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (ERPI), École Doctorale RP2E (Ressources, Procédés, Produits, Environnement), - Université de Lorraine.

ROMIJN H.; ALBALADEJO, M. Determinants of innovation capability in small electronics and software firms in southeast England. *Research Policy*, v. 31, n. 7, p. 1053-1067, 2002.

ROY, B. Decision-aid and decision-making. *European Journal of Operational Research*, v. 45, n. 2-3, p.324-331, 1990.

RUIZ-JÍMENEZ, J. M.; FUENTES-FUENTES, M. M. Management capabilities, innovation, and gender diversity in the top management team: An empirical analysis in technology-based SMEs. *BRQ Business Research Quarterly*, v. 19, n. 2, p. 107-121, 2015.

SAATY, Thomas L. *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. 2ª ed. New York: Springer. 2012.

SCHUMPETER, J. A. *Teoria do desenvolvimento econômico*. São Paulo: Nova Cultural, 1985.

SEBRAE. *Micro, pequenas e médias empresas*. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/>>. Acesso em: 3 jun. 2016.

SEPÚLVEDA, J.; GONZALEZ, J.; Alfaro, M.; CAMARGO, M. A metrics-based diagnosis tool for enhancing innovation capabilities in SMEs. *International Journal of Computers, Communications, and Control*, v.5, n.5, p.919–928, 2010.

SEPÚLVEDA, J.; VASQUEZ, E. Multicriteria analysis for improving the innovation capability in small and medium enterprises in emerging countries. *American Journal of Industrial and Business Management*, v.4, p.199–208, 2014.

STEIN, H. Financial liberalisation, institutional transformation and credit allocation in developing countries: the World Bank and the internationalisation of banking. *Cambridge Journal of Economics*. v. 34, n. 2, p. 257-273, 2010.

SZETO, E. Innovation capacity: working towards a mechanism for improving innovation within an interorganizational network. *The TQM Magazine*, v.12, n.2, p.149 – 158, 2000.

TANSCHHEIT, R. *Sistemas fuzzy*. In: VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI 2003). Minicurso, 2003.

TAYLAN, O.; KAYA, D.; DEMIRBAS, A. An integrated multi attribute decision model for energy efficiency processes in petrochemical industry applying fuzzy set theory. *Energy Conversion and Management*, v. 117, n. 2016, p. 501–512, 2016.

TEECE, D. J. Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, v. 28, n. 13, p. 1319-1350, 2007.

TEIXEIRA, M. S.; ABRANTES, J. L.; VICENTE, M. Measuring innovation capability in exporting firms: the innovscale. *International Marketing Review*, v.32, n.1, p.29 – 51, 2015.

TREMBLAY, P. J. *Technological capability and productivity growth: an industrialized industrializing country comparison*. Montreal: Cirano, 1998.

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

TSAI, M.T., CHUANG, S.S.; HSIEH, W.P. *Using analytic hierarchy process to evaluate organizational innovativeness in high-tech industry*. Decision Sciences Institute, 2008. In: Annual Meeting (DSI), Baltimore, Maryland, USA, p.1231–1236, 2008.

TUSHMAN, M. L.; O'REILLY, C. A. The ambidextrous organization: managing evolutionary and revolutionary change. *California Management Review*, v. 38, p. 1–23, 1996.

UNITED NATIONS. UN. *Enhancing the innovative performance of firms: policy options and practical instruments*. Geneva: UN, 2009.

UNSAI, E.; CETINDAMAR, D. Technology management capability: definition and its measurement. *European International Journal of Science and Technology*, v.4, n.2, p. 181-196, 2015.

VERGARA, S. C. *Metodologia do trabalho científico*. São Paulo: Cortez, 2002.

VERGARA, S. C. *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

VERGARA, S. C. *Métodos de pesquisa em administração*. São Paulo: Atlas, 2005.

VINODH, S.; PRASANNA, M.; PRAKASH, N.H. Integrated Fuzzy AHP–TOPSIS for Selecting the Best Plastic Recycling Method: A Case Study. *Applied Mathematical Modelling*, v. 38, n. 2014, p. 4662–4672, 2014.

VUOLA, O.; HAMERI, A.-P. Mutually benefiting joint innovation process between industry and big-science. *Technovation*, v. 6, n. 1, p. 3-12, 2006.

WANG, P. P.; CHANG, S. K. *Fuzzy sets, theory applications to policy analysis and information system*. New York: Plenum Press, 1980.

WANG, T. J.; CHANG, L. *The development of the enterprise innovation value diagnosis system with the use of systems engineering*. In: Proceedings of the International Conference of System Science and Engineering (ICSSE), p. 373–378, 2011.

WANG, C.-H.; LU, I.-Y.; CHEN, C.-B. Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty. *Technovation*, v.28, p. 349–363, 2008.

WANG, C. L.; AHMED, P. K. The development and validation of the organisational innovativeness construct using confirmatory factor analysis. *European Journal of Innovation Management*, v. 7, n. 4, p. 303-313, 2004.

YAGER, R. R. Fuzzy Decision Making Including Unequal Objectives. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 1, p. 87-95, 1977.

YAM, R.C.M.; GUAN, J. C.; PUN, K. F.; TANG, E. P. Y. An audit of technological innovation capabilities in Chinese firms: some empirical findings in Beijing, China. *Research Policy*, v.33, n. 8, p.1123–1140, 2004.

YANG, C.; ZHANG, Q.; DING, S. An evaluation method for innovation capability based on uncertain linguistic variables. *Applied Mathematics and Computation*, v. 256, p.160 –174, 2015.

ZADEH, L. A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-3*, n. 1, p. 28 - 44, 1973.

ZATEZALO, A.; GRAY, B. *Competitor orientation of small organizations*. In: Proceedings of ANZMAC 2000 Visionary Marketing for the 21st Century: Facing the Challenge. n. 2000, p. 1487–1491, 2000.

ZAWISLAK, P.; ALVES, A. C.; TELLO-GAMARRA, J.; BARBIEUX, D.; REICHERT, F. M. Innovation capability: from technology development to transaction capability. *Journal of Technology Management & Innovation*, v. 7, n. 2, p.14-26, 2012.

ZHAO, H.; TONG, X.; WONG, P. K.; ZHU, J. Types of technology sourcing and innovative capability: An exploratory study of Singapore manufacturing firms. *The Journal of High Technology Management Research*, v. 16, n. 2, p. 209-224, 2005.

ZHU, Y.; LEI, H. –Y. Fuzzy AHP analysis on enterprises' independent innovation capability evaluation. *Physics Procedia*, v. 24, part. B, p. 1285 – 1291, 2012.

## Apêndice 1 – Instrumento de Pesquisa

GOVERNANÇA E ORGANIZAÇÃO										
<p>Esta dimensão analisa o papel da liderança na condução do processo de inovação, a adoção de formas e mecanismos para seu gerenciamento e as estruturas organizacionais para as atividades de P,D&amp;I. Avalia a adoção pela empresa de práticas para estabelecer sua estratégia de inovação e o alinhamento entre estratégia de inovação e a estratégia de negócios. Identifica valores, crenças e rotinas que estimulam atividades inovativas na empresa. Os temas incluídos nesta dimensão são: 'Liderança e Cultura', 'Estratégia' e 'Estruturas'.</p>										
	IMPORTÂNCIA					ESTÁGIO ATUAL				
	Nenhuma	Baixa	Média	Alta	Muito alta	Incipiente ou inexistente	Pouco desenvolvida	Em desenvolvimento	Muito desenvolvida	Nível de excelência
<b>Liderança</b>										
1. A alta liderança transmite uma visão inovadora, que orienta a definição de objetivos e a estratégia de crescimento da empresa.										
2. A alta liderança promove sistematicamente a adaptação das estruturas de liderança, de modo a lidar com mudanças do ambiente terno.										
3. A alta liderança incentiva o surgimento de novos líderes para o desenvolvimento de atividades inovativas, através da responsabilização e autonomia.										
4. A alta liderança empenha-se e assume responsabilidades em processos chave da gestão da inovação.										
5. A alta liderança participa de reuniões/comitês internos para aprovação de propostas de projetos de P,D&I.										
6. A alta liderança participa de reuniões/comitês internos para avaliação de projetos de P,D&I nos marcos de seu desenvolvimento.										
<b>Cultura</b>										
7. A filosofia da empresa inclui a adaptabilidade, a experimentação, a criatividade e a aprendizagem como elementos essenciais para inovar.										
8. A comunicação interna da empresa integra diversas perspectivas, recorrendo a mecanismos formais e informais de circulação de informação e compartilhamento de conhecimento.										
9. A cultura da empresa estimula a capacidade de assumir riscos, sem penalizar os fracassos.										
<b>Estratégia</b>										
10. A empresa define sua estratégia de inovação de forma clara e compartilhada, envolvendo seus colaboradores no processo de formulação ou revisão da estratégia.										

<p><b>11. A</b> estratégia de inovação alinha-se à estratégia de crescimento da empresa, apoiando negócios existentes e/ou propiciando a criação de novos negócios.</p>																				
<p><b>12. A</b> empresa dispõe de uma sistemática de monitoramento do ambiente externo (concorrentes, clientes, políticas públicas, aspectos regulatórios, dentre outros) que alimenta seus processos de formulação e implementação da estratégia e planos de inovação.</p>																				
<p><b>13. A</b> empresa adota práticas consagradas de planejamento estratégico para a definição de sua estratégia de inovação. <i>Exemplos de práticas: benchmarking com a concorrência; roadmapping tecnológico; cenários; matriz SWOT.</i></p>																				
<p><b>14. A</b> estratégia de inovação traduz-se em um ou mais planos de ação com objetivos, metas quantitativas no curto, médio e longo prazo e responsabilidades bem definidas.</p>																				
<b>Estrutura</b>																				
<p><b>15. A</b> empresa dispõe de uma estrutura organizacional dedicada às atividades de P,D&amp;I.</p>																				
<p><b>16. A</b> empresa dispõe de estruturas interfuncionais de decisão, como comitês internos, para formulação/revisão da sua estratégia de inovação e o gerenciamento de projetos de P,D&amp;I.</p>																				
<p><b>17. A</b> empresa dispõe de sistemas de informação e comunicação que potencializam as atividades de P,D&amp;I e a gestão do conhecimento.</p>																				
<p><b>18. A</b> empresa dispõe de ambientes físicos que favorecem o compartilhamento de ideias e a geração de soluções inovadoras.</p>																				
<b>PESSOAS</b>																				
<p>Esta dimensão avalia a contribuição dos diversos recursos da organização no sentido de assegurar uma melhor dinâmica da gestão da inovação e maior desempenho inovador. Analisa as competências organizacionais associadas às atividades de P,D&amp;I e as formas de gestão e organização em rede. Os temas incluídos nesta dimensão são: 'Capital humano', 'Competências organizacionais', 'Relacionamentos externos e cooperação'.</p>																				
<b>Capital humano</b>																				
<p><b>19. A</b> empresa tem uma política de recursos humanos orientada para a inovação.</p>																				
<p><b>20. A</b> empresa tem uma política de formação e capacitação de cursos humanos que contribui para um maior desempenho inovador.</p>																				
<p><b>21. A</b> empresa estimula e apoia a criatividade e a iniciativa inovadora de seus colaboradores.</p>																				
<b>Competências organizacionais</b>																				
<p><b>22. A</b> empresa possui um processo de identificação, avaliação e planejamento da evolução de suas competências organizacionais associadas a atividades de P,D&amp;I.</p>																				
<p><b>23. A</b> empresa adota práticas de avaliação e reconhecimento de desempenho de seus colaboradores, que incentivam e recompensam os esforços de inovação.</p>																				
<p><b>24. A</b> empresa dispõe de competências técnicas especializadas em gestão de P,D&amp;I. <i>Exemplos: gestão de projetos; gestão de risco; prospecção tecnológica e de mercado; área jurídica; contabilidade; transferência de tecnologia; propriedade intelectual; gestão do conhecimento.</i></p>																				
<p><b>25. Na</b> empresa existe uma área, equipe ou pessoa responsável pela gestão de P&amp;D em cooperação.</p>																				



Proteção do capital intelectual e apropriação econômica dos resultados									
40. A empresa tem processos definidos para a avaliação e decisão sobre a proteção do seu capital intelectual e novos conhecimentos gerados.									
41. A empresa tem apoio jurídico e técnico especializado (interno ou externo) para negociação e contratação de cooperação em P&D e inovação.									
42. A empresa dispõe de equipe ou pessoa encarregada dos aspectos estratégicos e do acompanhamento jurídico de ativos intangíveis e direitos de propriedade intelectual.									

## Anexo 1 – Método Analítico Hierárquico (AHP)

Este Anexo descreve o método AHP, conforme proposto por Saaty (1977, 1991, 2008). Ele é parte integrante da dissertação de Arianni Fernanda Pereira de Mello, intitulada “Monitoramento e avaliação de regulamentação sobre recolhimento de alimentos no Brasil: proposição de indicadores e métricas” (Mello, 2015).

O método AHP compreende quatro etapas, de acordo com a descrição de Saaty (1991) e Costa (2006):

- Organização da estrutura hierárquica, através da identificação do foco principal, dos critérios e subcritérios (quando existirem) e das alternativas, refletindo as relações existentes entre eles;
- Aquisição dos dados e coleta de julgamentos de valor, através da comparação dos elementos dois a dois e estabelecimento das matrizes de comparações;
- Análise das matrizes de comparações geradas na fase anterior, que indicarão a prioridade de cada alternativa em relação ao foco principal;
- Análise dos indicadores de desempenho derivados, como índices de consistência por exemplo.

No AHP, os elementos de uma hierarquia para a resolução de problemas de decisão são o foco principal (ou meta), o conjunto de alternativas viáveis e o conjunto de critérios, de acordo com o ilustrado na Figura A.1.

O foco principal é o objetivo global, o que a resolução do problema trará. As alternativas viáveis são as possibilidades de escolha dentro do problema para que a decisão seja tomada. Por fim, os critérios são as características ou propriedades a partir das quais as alternativas devem ser avaliadas.

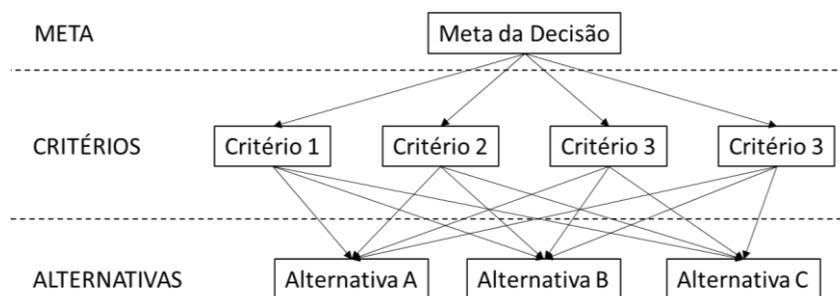


Figura A.1 – Exemplo de estrutura hierárquica de problemas de decisão (em três níveis)  
Fonte: Saaty, 1991.

Após a hierarquização, o método aponta para os julgamentos de valor, em que o avaliador deve comparar os elementos dois a dois à luz de um determinado critério. O julgamento é, então, a representação numérica dessa relação e o grupo de todos os julgamentos, considerando a comparação de todos os elementos em relação a um critério específico, pode ser representado através de uma matriz quadrada (Saaty, 1991).

Para o estabelecimento do processo de julgamento, Saaty (1990) definiu uma escala específica para padronizar os julgamentos de valor, escala essa que capta a subjetividade natural existente em variáveis qualitativas. O Quadro A.1, a seguir, apresenta essa escala.

Quadro A.1 – Escala para padronizar os julgamentos de valor pelo método AHP

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre as duas definições.

Fonte: Saaty, 1991.

O julgamento consiste no reflexo de duas perguntas: qual dos dois elementos é o mais importante, à luz do objetivo pretendido, e com qual

intensidade ele é mais importante, utilizando-se a escala de 1 a 9 apresentada no Quadro A.2.

Para o elemento mais importante, é utilizado um valor inteiro, enquanto que o menos importante recebe o inverso dessa unidade, como ilustrado no exemplo didático da Figura A.2

**Matriz A**

	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Figura A.2 – Exemplo de matriz de julgamentos para o método AHP

Fonte: Saaty, 1991.

As letras A, B, C e D representam os elementos a serem comparados dois a dois. A diagonal da matriz recebe sempre 1, pois é a comparação do elemento com ele mesmo. Para o preenchimento dos outros campos, são feitos os julgamentos para determinar a intensidade de importância, utilizando a escala determinada por Saaty. Para as comparações inversas, ou seja, o que está na parte inferior esquerda da matriz, são adicionados os valores recíprocos referentes a cada julgamento, que estão na parte superior direita da mesma.

Com as matrizes recíprocas devidamente estruturadas, obtém-se o vetor de prioridades, ou pesos, a partir do cálculo do autovetor normalizado do máximo autovalor. Existem métodos específicos para o cálculo aproximado desses valores (Saaty, 1991). Tais aproximações foram desenvolvidas por limitações computacionais da época em que o método foi desenvolvido, sendo custoso o cálculo de autovetores e autovalores para matrizes de ordem elevada.

Para fins deste trabalho, será utilizado o valor preciso de ambas as grandezas, que são denotadas matricialmente por:

$$Aw = \lambda_{max}w \quad (1)$$

Onde:

$A$  é a matriz de julgamentos (quadrada, recíproca e positiva);

$w$  é o autovetor principal, referente aos pesos;

$\lambda_{max}$  é o autovalor principal de  $A$ .

Com as características das matrizes de julgamentos em mãos, através do teorema de Perron-Frobenius, Saaty (1991) afirma que a solução tem um único maior autovalor que corresponde a um autovetor de componentes estritamente positivos. Os teoremas e as provas acerca das características envolvendo as matrizes geradas, a partir da avaliação de especialistas, são apresentados em seu trabalho. Computados os autovalores das respectivas matrizes, é necessário realizar análise da consistência dos julgamentos para avaliar o quão afastado da consistência os julgamentos estão. Utiliza-se uma medida para avaliar a probabilidade de os julgamentos terem sido realizados puramente ao acaso e esta medida é chamada Razão de Consistência (RC). Por exemplo, um  $RC = 0,3$  diz que há 30% de chance do especialista responder as perguntas aleatoriamente.

Saaty (1991) apresenta um desenvolvimento simples e intuitivo para compreender a análise de consistência. Vamos supor uma matriz consistente, em que as comparações são baseadas em medidas exatas, isto é, os pesos já são conhecidos, então:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (2)$$

Como o julgamento é perfeito para todas as comparações, tem-se que  $a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk}$  para qualquer  $i, j, k$ , variando de 1 até  $n$ , sendo  $n$  a ordem da matriz.

Também vale a afirmativa:

$$a_{ij} = \frac{w_j}{w_i} = \frac{1}{w_i/w_j} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (3)$$

Dessa forma, caracteriza-se uma matriz consistente de comparações paritárias.

Considerando  $x = (x_1, \dots, x_n)$  e  $y = (y_1, \dots, y_n)$ , pode-se escrever em notação matricial  $A \cdot x = y$ , onde  $A$  é a matriz de julgamentos:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Algebricamente, essa operação pode ser representada por:

$$\sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot x_j = y_i \quad (5)$$

para  $i = 1, \dots, n$

Como  $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$ , obtém-se:

$$a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = 1 \quad (6)$$

para  $i, j = 1, \dots, n$

Consequentemente:

$$\sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot w_j \frac{1}{w_i} = n \quad (7)$$

para  $i = 1, \dots, n$

Ou

$$\sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot w_j = n w_i \quad (8)$$

para  $i = 1, \dots, n$

Que é equivalente a equação matricial:

$$Aw = nw \quad (9)$$

Em álgebra linear, esta última equação expressa o fato de que  $w$  é autovetor de  $A$  com autovalor  $n$ .

Na prática,  $a_{ij}$  são os pesos atribuídos pelo julgamento dos especialistas, baseado na escala fundamental, e de certa forma subjetivos. Assim, os valores  $a_{ij}$  irão se afastar do “ideal”  $w_i/w_j$ , fazendo com que a equação  $Aw = nw$  não seja mais válida.

Se  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  são os números que satisfazem a equação  $Aw = \lambda w$ , então  $\lambda$  é autovalor de  $A$  e, se  $a_{ij} = 1$  para todo  $i$ , então:

$$\sum_{i=0}^n \lambda_i = n \quad (10)$$

Assim, se  $Aw = nw$  é válida, somente um dos autovalores é diferente de zero e valerá  $n$ , sendo o maior autovalor de  $A$ .

Caso os elementos de uma matriz recíproca positiva sofrerem pequenas variações, seus respectivos autovalores também variarão em pequenas quantidades.

Utilizando os resultados apresentados juntamente com o axioma anterior, pode-se dizer que, caso a diagonal principal de uma matriz possua os elementos iguais a 1 e for consistente, pequenas variações nos elementos  $a_{ij}$  farão com que o autovalor máximo  $\lambda_{max}$  permaneça próximo de  $n$  e os outros autovalores próximos de zero, sendo  $\lambda_{max} \geq n$ .

Portanto, para calcular o autovetor de prioridades de uma matriz de comparações paritárias  $A$ , deve-se encontrar o vetor que satisfaça a equação  $Aw = \lambda_{max}w$ .

O valor de interesse para o desenvolvimento da metodologia é o autovetor normalizado, de forma que a soma de  $w$  seja igual a 1. Para isso, cada elemento  $w_i$  é dividido pelo seu somatório.

Uma medida de consistência, chamada Índice de Consistência (IC), é utilizada para calcular o desvio de  $\lambda_{max}$  em relação a  $n$ , uma vez que a utilização da escala para os julgamentos geram variações em  $a_{ij}$ , alterando  $\lambda_{max}$ .

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (11)$$

É comum as avaliações realizadas pelos especialistas gerarem inconsistências, pois fazem parte do julgamento humano, mas deseja-se que sejam as menores possíveis. Para verificar a coerência, utiliza-se, como citado anteriormente, a Razão de Consistência, tendo como definição:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (12)$$

IR (Índice Randômico) é o índice de consistência de uma matriz recíproca gerada randomicamente, baseada na escala de 1 a 9, com recíprocas forçadas (Saaty e Vargas, 2012). Este valor é tabelado e varia de acordo com a ordem da matriz.

A avaliação final da coerência do julgamento se dá ao comparar o valor de RC. Para o presente desenvolvimento, fazem-se as seguintes considerações:

a)  $RC \leq 0,1$  consiste em um julgamento coerente, premissa básica do método em relação a análise de coerência, proposta inicialmente para julgar uma avaliação como satisfatória;

b)  $0,1 < RC < 0,2$  = Julgamento questionável, considerado para que especialista reveja seus julgamentos da respectiva etapa, analisando a matriz construída e busque melhorar alguma(s) comparação(ões) que tenha(m) sido inconsistente(s). Porém, não é obrigatório que se altere algum julgamento;

c)  $RC \geq 0,2$  = Julgamento incoerente, indica que as comparações pareadas daquela etapa geraram um alto índice de inconsistência e o especialista é obrigado a refazer seus julgamentos.

Uma vez alcançada a consistência no julgamento, são calculados os vetores de prioridades, ou seja, os pesos relativos de cada elemento do problema. Este cálculo é realizado através da multiplicação das matrizes de prioridades. Em outras palavras, para cada alternativa, o cálculo consiste na soma ponderada da importância relativa de cada atributo pelo nível de preferência de determinada alternativa em relação ao respectivo critério (Souza, 2013). No AHP, cada alternativa receberá uma pontuação através de uma função de valor aditiva. As alternativas com maior valor serão as preferíveis (Passos, 2010). Formalizando, a função de valor para cada alternativa será:

$$F(a) = \sum_{j=1}^n w_j v_j(a) \quad (13)$$

Onde:

$F(a)$  é o valor final de alternativa  $a$ ;

$w_j$  é o peso do  $j$ -ésimo critério;

$v_j$  é o desempenho da alternativa em relação ao  $j$ -ésimo critério.

**Referências do Anexo 1**

Costa, H. G. *Auxílio multicritério à decisão: método AHP*. Rio de Janeiro: Abepro. 2006.

Saaty, T. L. Scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v.15, p.234-281. 1977.

Saaty, T. L. Physics as a decision theory. *European Journal of Operational Research*, v. 48, p.98-104. 1990.

Saaty, T. L. *Método de análise hierárquica*. São Paulo: Mc-Graw-Hill, Makron. 1991.

Saaty, T. L. *Decision making for leaders*. Pittsburg: RWS Publications. 2000.

Saaty, T. L.; Vargas, L. G. *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. 2ª ed. New York: Springer. 2012.

## Anexo 2 – Técnica para avaliar o desempenho de alternativas pela similaridade com a solução ideal (TOPSIS)

Este anexo descreve a técnica para avaliar o desempenho de alternativas pela similaridade com a solução ideal (TOPSIS), conforme proposto por Hwang e Yoon, (1981). Ele é parte integrante da dissertação de Arianni Fernanda Pereira de Mello intitulada “Monitoramento e avaliação de regulamentação sobre recolhimento de alimentos no Brasil: proposição de indicadores e métricas” (Mello, 2015).

Basicamente, a técnica compreende as seguintes etapas:

- Construção da matriz do problema ou matriz de decisão, que traz as alternativas e critérios selecionados juntamente com as notas e avaliações;
- Cálculo da matriz normalizada, utilizando normalização linear ou por vetor;
- Cálculo da matriz com os respectivos pesos de cada critério, definidos previamente por um ou mais decisores;
- Identificação da PIS e da NIS;
- Cálculo das distâncias entre a PIS e cada alternativa e entre a NIS e cada alternativa;
- Cálculo da similaridade para a posição ideal positiva, que vai definir a hierarquização das alternativas estudadas.

A matriz de decisão  $A$  composta por alternativas e critérios é apresentada abaixo:

$$A = \begin{matrix} & C_1 & \cdots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \cdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mm} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

onde  $A_1, A_2, \dots, A_m$  são alternativas viáveis e  $C_1, C_2, \dots, C_n$  são critérios;  $x_{ij}$  indica o desempenho da alternativa  $A_i$  segundo o critério  $C_j$ .

O vetor de peso  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  composto pelos pesos individuais para cada critério  $C_j$  satisfaz:

$$\sum_{i=1}^n w_j = 1 \quad (2)$$

Os dados da matriz  $A$  têm origens distintas, devendo ser normalizada com o objetivo de transformá-la em uma matriz adimensional e, com isso, proceder a uma comparação entre os vários critérios. Para fins de aplicação nesta pesquisa, a matriz  $A$  deve ser normalizada para cada critério  $C_j$ , de acordo com a seguinte fórmula:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (3)$$

com  $i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ .

Assim, uma matriz de decisão normalizada  $A_n$  representa o desempenho relativo das alternativas e pode ser descrita por:

$$A_n = (p_{ij})_{m \times n}, \text{ com } i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n. \quad (4)$$

O algoritmo, para calcular a melhor alternativa, segundo a técnica TOPSIS, compreende os seguintes passos (Krohling e Souza, 2011):

**Passo 1:** Cálculo das soluções ideais positivas  $A^+$  (benefícios) e das soluções ideais negativas  $A^-$  (custos) da seguinte forma:

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_m^+) \quad (5)$$

$$A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_m^-) \quad (6)$$

onde

$$p_j^+ = (\max_i \cdot p_{ij}, j \in J_1; \min_i \cdot p_{ij}, j \in J_2) \quad (7)$$

$$p_j^- = (\min_i \cdot p_{ij}, j \in J_1; \max_i \cdot p_{ij}, j \in J_2) \quad (8)$$

onde  $J_1$  e  $J_2$  representam respectivamente o critério benefício e custo.

**Passo 2:** Cálculo das distâncias Euclidianas entre  $A_i$  e  $A^+$  (benefícios) e entre  $A_i$  e  $A^-$  (custos) da seguinte forma:

$$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^+ - p_{ij})^2}, \text{ com } i = 1, \dots, m \quad (9)$$

$$d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^- - p_{ij})^2}, \text{ com } i = 1, \dots, m \quad (10)$$

Passo 2: Cálculo da proximidade relativa  $\xi_i$  para cada alternativa  $A_i$  em relação à solução ideal positiva  $A^+$  conforme:

$$\xi_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (11)$$

### Referências do Anexo 2

Hwang, C. L. Yoon, K. *Multiple attribute decision making: methods and applications*, New York: Springer-Verlag, 1981.

Krohling, R.A.; Souza, T.T.M. Dois exemplos da aplicação da técnica TOPSIS para tomada de decisão. *Revista de Sistemas de Informação da FSMA*, n.8, p. 31-35, 2011.

## Anexo 3 – Chamada Pública MCT/FINEP – 11/2010



Ministério da  
Ciência e Tecnologia

### CHAMADA PÚBLICA MCT/FINEP - AT - PRÓ-INOVA - NÚCLEOS DE APOIO À GESTÃO DA INOVAÇÃO - 11/2010

#### SELEÇÃO PÚBLICA DE PROPOSTAS VISANDO À ESTRUTURAÇÃO E OPERAÇÃO DE NÚCLEOS DE APOIO À GESTÃO DA INOVAÇÃO

#### 1. OBJETIVO

Selecionar propostas para a estruturação e a operação de Núcleos de Apoio à Gestão da Inovação – NAGIs visando a elaboração de Planos e Projetos de Gestão da Inovação nas empresas brasileiras.

Esta Chamada Pública encontra-se no âmbito do Programa Nacional de Sensibilização e Mobilização para a Inovação – Pró-Inova e da Mobilização Empresarial para a Inovação – MEI.

#### 2. ELEGIBILIDADE DAS INSTITUIÇÕES

**Instituição Proponente/Conveniente** - Órgão ou entidade da Administração Pública direta ou indireta de qualquer esfera de governo, ou Instituição de Pesquisa Científica e Tecnológica - ICT, pública ou privada sem fins lucrativos. A Instituição Proponente/Conveniente será responsável pela execução gerencial e financeira do projeto. As instituições acima poderão ser representadas por Fundações/ Instituições de Apoio.

**Instituição Executora** - Instituição de Pesquisa Científica e Tecnológica - ICT, pública ou privada sem fins lucrativos, ou órgão ou entidade da Administração Pública direta ou indireta de qualquer esfera de governo, ou entidade privada sem fins lucrativos que possua competência e atuação na área em questão.

#### 3. CARACTERIZAÇÃO DOS NÚCLEOS DE APOIO À GESTÃO DA INOVAÇÃO

São grupos/equipes com experiência na área de gestão da inovação com a atribuição de mobilizar, capacitar e apoiar empresas nas atividades de gestão da inovação. Esses grupos/equipes devem:

- Pertencer às instituições públicas ou privadas sem fins lucrativos e serem, preferencialmente, articulados com Federações das Indústrias ou outras associações/ entidades de classe empresariais;
- executar os seus projetos e serviços através de equipe própria ou em parceria com outras instituições e/ou consultorias com capacitação nos temas relacionados à gestão da inovação;
- atuar, preferencialmente em parceria, na forma de rede, com outras instituições de reconhecida competência em áreas complementares nos temas de gestão da inovação. As redes poderão ser formadas por instituições de diferentes municípios, estados ou regiões, podendo ser, inclusive, internacionais.