



PEDRO IVO GARCIA NUNES

**ANÁLISE DE MODELOS MENTAIS BASEADA
EM REGRAS NEBULOSAS PARA TOMADA DE
DECISÃO COLABORATIVA**

LIMEIRA

2014



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA

PEDRO IVO GARCIA NUNES

**ANÁLISE DE MODELOS MENTAIS BASEADA EM REGRAS
NEBULOSAS PARA TOMADA DE DECISÃO COLABORATIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Tecnologia, área de concentração em Tecnologia e Inovação.

Supervisor/*Orientador*: Prof.^a Dr.^a Ana Estela Antunes da Silva

Co-supervisor/*Co-orientador*: Prof. Dr. Antonio Carlos Zambon

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO
PEDRO IVO GARCIA NUNES E ORIENTADA PELA
PROF.^a DR.^a ANA ESTELA ANTUNES DA SILVA

LIMEIRA

2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Tecnologia
Vanessa Evelyn Costa - CRB 8/8295

N922a Nunes, Pedro Ivo Garcia, 1988-
Análise de modelos mentais baseada em regras nebulosas para tomada de decisão colaborativa / Pedro Ivo Garcia Nunes. – Limeira, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Ana Estela Antunes da Silva.
Coorientador: Antonio Carlos Zambon.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia.

1. Consenso (Ciências sociais). 2. Gestão do conhecimento. 3. Cognição. 4. Processo decisório. 5. Sistemas difusos. I. Silva, Ana Estela Antunes da. II. Zambon, Antonio Carlos. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Tecnologia. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Mental models analysis based on fuzzy rules for collaborative decision-making

Palavras-chave em inglês:

Consensus (Social sciences)

Knowledge management

Cognition

Decision-making

Fuzzy systems

Área de concentração: Tecnologia e Inovação

Titulação: Mestre em Tecnologia

Banca examinadora:

Ana Estela Antunes da Silva [Orientador]

Maria Cristina Aranda

Gisele Busichia Baioco

Data de defesa: 26-02-2014

Programa de Pós-Graduação: Tecnologia

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

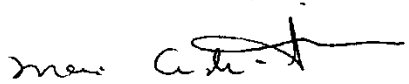
Análise de modelos mentais baseada em regras nebulosas para tomada de decisão colaborativa

Pedro Ivo Garcia Nunes

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Profa. Dra. Ana Estela Antunes da Silva
FT/UNICAMP
Presidenta

 B. Baio

Profa. Dra. Maria Cristina Aranda
EEP



Profa. Dra. Gisele Busichia Baioco
FT/UNICAMP

*Ao meu Senhor e Salvador, Jesus Cristo,
em quem estão escondidos todos os tesouros da sabedoria e da ciência;*

*Aos meus pais, Daisy e Ivo,
em quem encontro o exemplo e o suporte;*

*À minha amada, Poliana,
em quem descobri a companhia imprescindível, a maior das amizades.*

Agradecimentos

Minha gratidão se estende a todos aqueles que, das mais diversas maneiras, puderam contribuir e, por isso, tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Agradeço, primeiramente, ao meu Deus e à minha família, em quem, respectivamente, deposito a fé e o amor, nunca confundidos. Em Jesus Cristo encontro identidade, inspiração e o impulso, inclusive científico, para investigação constante, na busca pela verdade máxima. Também posso me alegrar pelo exemplo sólido e suporte vigoroso de meus perpétuos professores, meus pais, Daisy e Ivo. Sou grato pela indispensável e infalível companhia que eu não poderia achar senão em minha amada Poliana. Agradeço à minha família pela compreensão e, antes de tudo, pelas muitas renúncias.

Dirijo agradecimentos à paciente orientação da Prof.^a Dr.^a Ana Estela Antunes da Silva, pela confiança inabalável e pelo compreensivo auxílio no desenvolvimento de meu potencial acadêmico. Agradeço à co-orientação do Prof.^o Dr. Antônio Carlos Zambon, cuja paixão pela investigação dos modelos mentais foi o principal motivador para realização deste trabalho. Também agradeço à Prof.^a Dr.^a Maria Cristina Aranda e sua suplente Prof.^a Dr.^a Adriane Beatriz Serapião pela gentileza de comporem minha banca de defesa e, dessa maneira, permitirem que meu trabalho fosse avaliado e recebesse suas contribuições. Os agradecimentos se estendem à Prof.^a Dr.^a Gisele Busichia Baioco e ao Prof.^o Dr. Luiz Camolesi Junior, que juntos acompanharam meu trabalho desde minha banca de qualificação e cujas sensatas críticas possibilitaram a evolução da minha proposta.

Agradeço à Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD) — especialmente à Cláudia Piovesan Macedo e a todos os colegas da Gerência de Treinamento e Documentação e da Gerência de Inovação em Sistemas de Suporte a Operações, que aceitaram compartilhar minha dedicação e compreenderam minha carga horária reduzida.

Agradeço ao Prof.^o Dr. Tristan Torriani, pela supervisão de meu estágio docente, que tanto acrescentou à minha experiência acadêmica, sobretudo na área de Lógica. Também não posso esquecer-me de prestar minha homenagem à iniciação científica de Romulo Messias, pela competente e imprescindível colaboração.

Por fim, minha gratidão é dirigida à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pelo apoio financeiro fundamental para o andamento de minhas atividades no último ano de mestrado. Por isso, estendo meus agradecimentos à Fátima Alves, Karen Macedo e ao Prof.^o Dr. Vitor Rafael Coluci, secretárias e coordenador do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia.

Peço a todos que, por favor, aceitem a coautoria deste trabalho. Muito obrigado!

*“Esses computadores,
que só conhecem o sim e o não,
vivem a impor-nos opções binárias.
Se você não é branco, é preto;
se você não é grego, é troiano;
se não é da esquerda, é da direita.
Onde a ‘encruzilhada de um talvez’,
como diria o hoje tão esquecido Euclides da Cunha?
Pelo visto, somos uns robôs totalitários.
Isto é, desconhecemos as dúvidas e as nuances,
antigos signos de inteligência.”*
(Mario Quintana^{*})

^{*} Quintana, Mario. A vaca e o hipogrifo. Porto Alegre: Editora Garatuja. 1977. 252p.

Resumo

Tomadores de decisão são frequentemente confrontados por fenômenos que envolvem uma grande quantidade de atores e interações pertinentes a problemas cada vez mais complexos e, por isso, difíceis de serem gerenciados. As teorias da racionalidade limitada assumem que o tratamento dessa complexidade se dá pela consideração do conhecimento compartilhado entre um número representativo de diferentes agentes de decisão. A identificação desse tipo de comunidade depende de métodos de análise e comparação das estruturas utilizadas para representar conhecimento. Modelos mentais (MMs) são diagramas de representação, baseados em linguagem natural, que consistem de relações lógicas de causa-efeito utilizadas para descrever os fenômenos. Este trabalho teve por objetivo principal desenvolver e aplicar um método matemático para análise e comparação de modelos mentais, a fim de possibilitar a identificação dos modelos mais adequados ao consenso típico de um processo de tomada de decisão colaborativa. O método foi estruturado a partir de uma base de regras nebulosas que foi automatizada por meio de um sistema inteligente de apoio à decisão (SIAD). O SIAD foi utilizado em um estudo de caso para analisar e comparar os MMs utilizados por universitários para descrever os protestos ocorridos no Brasil entre os meses de junho e julho de 2013. Os resultados indicam os modelos mais representativos no que diz respeito às descrições das causas dessas manifestações, cuja ambiguidade se apresentou como motivo de uma incerteza que despertou o interesse internacional pela investigação acerca do caráter das reivindicações.

Palavras-chave: *incerteza, modelos mentais (MMs), representação de conhecimento, sistemas inteligentes de apoio à decisão (SIAD), regras nebulosas, teorias da racionalidade limitada.*

Abstract

Decision makers are often confronted with phenomena that involve a lot of actors and interactions relevant to complex problems that are difficult to manage. Theories of bounded rationality assume that the treatment of this complexity occurs by the consideration of the shared knowledge among a representative number of different decision-makers. The identification of this type of community depends on methods of analysis and comparison of the structures used to represent knowledge. Mental models (MMs) are diagrams of representation, based on natural language, which consist of logical relations of cause and effect used to describe the phenomena. This study aimed at developing and applying a mathematical method for analyzing and comparing mental models in order to enable the identification of the most suitable models for typical consensus of the collaborative decision making. The method was structured on a base of fuzzy rules that was automated by means of an intelligent decision support system (IDSS). The IDSS was used in a case study to analyze and compare the MMs used by academics to describe the Brazilian protests in June and July 2013. The results indicate the most representative models with regard to the descriptions of the causes of these revolts, which created uncertainty and sparked international interest in research on the nature of the claims.

Keywords: *bounded rationality, fuzzy rules, intelligent decision support systems (IDSS), knowledge representation, mental models (MMs), uncertainty.*

Lista de Figuras

Figura 1 – Os MMs ao longo da história	9
Figura 2 – Estrutura conceitual de um MM.....	10
Figura 3 – Modelo mental	11
Figura 4 – Mapa cognitivo (MC).....	12
Figura 5 – Mapa Estratégico (ME)	13
Figura 6 – Diagrama de Fluxo e Estoque	15
Figura 7 – Estrutura conceitual de um MM da Dinâmica dos Sistemas.....	16
Figura 8 – Polaridade dos ciclos de retroalimentação	17
Figura 9 – Função triangular	24
Figura 10 – Função trapezoidal	24
Figura 11 – Operações fundamentais entre conjuntos: a) Complemento; b) Contenção; c) União; d) Interseção.	25
Figura 12 – Método de inferência de Mamdani.	29
Figura 13 – MMs e suas respectivas matrizes de adjacência	35
Figura 14 – Níveis analisados da estrutura conceitual de um MM de Dinâmica dos Sistemas	37
Figura 15 – Exemplo de MCN	43
Figura 16 – Estrutura conceitual de um MCN-BR	44
Figura 17 – Análise de relevância de um elemento.....	48
Figura 18 – Análise da relevância de um ciclo.....	49
Figura 19 – Análise de representatividade da relação	50
Figura 20 – a) Análise de representatividade de uma relação do modelo A b) Análise de representatividade das duas relações do modelo A c) Análise de representatividade geral d) Análise de representatividade consolidada.....	51
Figura 21 – Análise de representatividade do modelo	52
Figura 22 – Funções de pertinência associadas aos valores linguísticos das variáveis	53
Figura 23 – Funções de pertinência associadas aos termos linguísticos da variável PDM. .	54
Figura 24 – Variáveis linguísticas e encadeamento das regras	61
Figura 25 – Arquitetura do sistema inteligente de apoio à decisão	65

Figura 26 – Interface para cadastramento de domínio do problema	66
Figura 27 – Interface para cadastramento de elementos e relações.....	66
Figura 28 – Interface de análise e comparação dos modelos mentais	67
Figura 29 – Interface de apresentação de resultados	68
Figura 30 – Diversidade dos modelos: a) MM oriundo de um estudante de Ciências do Esporte; b) MM oriundo de um estudante de Engenharia de Manufatura; c) MM oriundo de um estudante de Engenharia de Produção; d) MM oriundo de estudante de Gestão do Agronegócio; e) MM oriundo de estudante de Gestão de Comércio Internacional; f) MM oriundo de estudante de Gestão de Empresas; g) MM oriundo de estudante de Gestão de Políticas Públicas; h) MM oriundo de estudante de Nutrição.	72
Figura 31 – Níveis dos elementos de um modelo mental.....	75
Figura 32 – Modelos mentais de maior representatividade dentre os 148 MMs analisados pelo estudo de caso	78
Figura 33 – Exemplo de modelo mental de baixa representatividade.....	80
Figura 34 – Diagrama de Pareto referente aos elementos dos MMs utilizados para descrever as causas das manifestações	84
Figura 35 – Recorte do diagrama de Pareto referente aos principais elementos dos MMs utilizados para descrever as causas das manifestações.....	85

Lista de Quadros

Quadro 1 – Estudos acerca da comparação entre modelos mentais	33
Quadro 2 – Níveis de Análise e Comparação de modelos mentais	37
Quadro 3 – Variáveis linguísticas.....	52
Quadro 4 – Valores linguísticos do consequente <i>Proximidade_{Geral}</i>	56
Quadro 5 – Valores linguísticos do consequente <i>Proximidade_{Geral}</i>	56
Quadro 6 – Valores linguísticos do consequente <i>Relevância_{Ciclo}</i>	57
Quadro 7 – Valores linguísticos do consequente <i>Representatividade_{Ciclo}</i>	58
Quadro 8 – Valores linguísticos do consequente <i>Representatividade_{Geral}</i>	59
Quadro 9 – Valores linguísticos do consequente <i>Representatividade_{Geral}</i>	60
Quadro 10 – Valores linguísticos do consequente <i>Representatividade_{Modelo}</i>	60

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Diversidade etária da amostra.....	71
Tabela 2 – Diversidade acadêmica da amostra.....	71
Tabela 3 – Padrão para informação dos valores associados ao parâmetro Proximidade _{Agente}	74
Tabela 4 – Padrão para informação dos valores associados ao parâmetro Proximidade _{Problema}	75
Tabela 5 – Total de comparações executadas.....	76
Tabela 6 – Modelos mentais de maior e menor representatividade	77
Tabela 7 – Média de elementos por modelo mental	79
Tabela 8 – Distribuição acadêmica dos modelos mentais mais representativos	79
Tabela 9 – Distribuição etária dos modelos mentais de maior representatividade.....	80
Tabela 10 – Principais elementos utilizados pelos 148 MMs para descrever as manifestações ocorridas entre junho e julho no Brasil	82

Lista de Siglas e Abreviaturas

ACM	<i>Association for Computing Machinery</i>
BSC	<i>Balanced Scorecard</i>
IEEE	<i>Institute of Electric Electronic Engineering</i>
IEMML	<i>Information Economy Meta Language</i>
MC	Mapa Cognitivo
MCN	Mapa Cognitivo Nebuloso
MCNBR	Mapa Cognitivo Nebuloso Baseado em Regras
ME	Mapas Estratégicos
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MM	Modelo Mental
MP	<i>Modus ponens</i>
MPL	Movimento Passe Livre
PD	Proporção da Distância
PDC	Proporção da Distância entre Ciclos
PDE	Proporção da Distância entre Elementos
PDM	Proporção da Distância entre Modelos
SBRN	Sistema Baseado em Regras Nebulosas
SECI	Socialização-Externalização-Combinação-Internalização
SIAD	Sistema Inteligente de Apoio à Decisão
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação
TGS	Teoria Geral dos Sistemas
ONU	Organização das Nações Unidas
UNCSD	<i>United Nations Conference for Sustainable Development</i>

Sumário

Lista de Figuras	xvii
Lista de Quadros	xix
Lista de Tabelas	xxi
Lista de Siglas e Abreviaturas	xxiii
1 Introdução.....	1
1.1 Visão geral e motivação.....	1
1.2 Problemática	4
1.3 Considerações iniciais.....	4
1.4 Objetivo	5
1.5 Metodologia	5
1.6 Estrutura do texto.....	6
2 Modelos mentais	7
2.1 Visão geral e histórica.....	7
2.1.1 Teoria dos modelos mentais	9
2.2 Mapas Cognitivos (MCs) e Mapas Estratégicos (MEs).....	11
2.3 Dinâmica dos Sistemas	13
2.3.1 Modelos mentais da Dinâmica dos Sistemas.....	15
2.4 Modelos mentais compartilhados e inteligência coletiva	17
3 Lógica Nebulosa.....	19
3.1 Visão geral e histórica.....	19
3.2 Teoria dos Conjuntos Nebulosos	21
3.2.1 Funções de Pertinência	22
3.2.2 Operações entre Conjuntos Nebulosos	25

3.3	Relações Nebulosas	27
3.3.1	Inferência e Regras Nebulosas	28
3.4	Conversão Linguístico-numérica	30
4	Trabalhos correlatos	33
4.1	Métodos para comparação de modelos mentais.....	33
4.1.1	Método das distâncias.....	34
4.1.2	Método da proximidade.....	40
4.2	Lógica nebulosa e modelos mentais	41
4.2.1	Mapas Cognitivos Nebulosos	42
4.2.2	Mapas Cognitivos Nebulosos baseados em regras	44
5	Método de análise de modelos mentais	47
5.1	Base de conhecimento	47
5.1.1	Parâmetros de análise e comparação de modelos mentais	47
5.1.2	Variáveis linguísticas.....	52
5.1.3	Regras nebulosas	55
5.2	Sistema Inteligente de Apoio à Decisão	64
5.2.1	Arquitetura do sistema.....	64
6	Estudo de caso	69
6.1	Contexto.....	69
6.2	Procedimentos.....	70
6.3	Resultados	76
6.3.1	Validação dos resultados	81
7	Conclusão	87
7.1	Contribuições	88
7.2	Aplicações.....	88

7.3	Trabalhos futuros	89
	Referências	91
	Apêndice A	103
	Apêndice B	104
	Apêndice C	108
	Índice	112

1 Introdução

Este capítulo introduz alguns conceitos fundamentais para o entendimento e contextualização deste trabalho por meio da apresentação da motivação, dos objetivos, da metodologia e escopo da pesquisa, bem como da estrutura do texto para organização desta dissertação.

1.1 Visão geral e motivação

O mundo cada vez mais problemático e a emergente busca por soluções têm tornado evidentes os altos níveis de incerteza provenientes de uma realidade cuja crescente complexidade está associada ao elevado número de atores, relacionamentos e interações que compõem fenômenos cada vez mais difíceis de serem gerenciados (FERYOK, 2010; KWAPIÉN; DROZDZ, 2012). Esse elevado número de variáveis associadas aos problemas demanda soluções que devem considerar diversas perspectivas (ZHAO; WEN, 2012), e, até mesmo, informação conflitante (KOSKO, 1986b; VAHDANI et al., 2013; YÜCENIR; DEMIREL, 2012). Afinal, o conflito é um processo decorrente da divergência entre percepções da realidade (IORIO; TAYLOR, 2014; LÄNSILUOTO; JARVENPÄÄ; KRUMWIEDE, 2013) e pode ocorrer quando são considerados diferentes *stakeholders*¹, seus múltiplos interesses, papéis, visões e experiências (PALETZ; SCHUNN; KIM, 2013; SCONTRAS; GRAFF; GOODMAN, 2012). Isso, por sua vez, fomenta a incerteza e acaba tornando os processos de tomada de decisão tão — ou mais — complexos quanto as questões a que se propõem resolver (REI, 2012²; WÜSTENBERG, GREIFF, FUNKE, 2012)

¹ A expressão *stakeholders* denota todos os interessados, envolvidos, contribuintes ou partícipes de um determinado processo, projeto ou organização (TULLBERG, 2013).

² Rei (2012) se refere à Rio+20, Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (*United Nations Conference on Sustainable Development – UNCSD*), que ocorreu no Rio de Janeiro de 13 a 22 de junho de 2012 e levou aproximadamente uma semana para redigir um documento final de consenso. As negociações superaram o tempo previsto e ocasionaram tensões diplomáticas em um processo intenso para que se evitasse atraso na entrega das considerações finais. As conclusões geraram o documento *The Future We Want*, objeto de muita crítica e insatisfação, inclusive por parte da própria Organização das Nações Unidas (ONU).

A necessidade de considerar ideias, opiniões e objetivos variados foi profundamente estudada pela Escola de Carnegie³, representada principalmente pelas teorias da racionalidade limitada (MARCH, 1978; O'CONNOR, 2013; SIMON, 1972). Essas teorias associam o aumento da eficiência e a obtenção de estabilidade nas organizações a uma abordagem qualitativa das decisões que considere etapas de aprendizagem (GRAVONSKI et. al., 2012; KOSKINEN, 2012). Essa abordagem se fundamenta sobre um processo decisório político baseado na coalizão e no consenso entre os agentes de decisão. Assim, as soluções de problemas estão associadas a uma percepção compartilhada da realidade. Logo, decisões satisfatórias residem no conhecimento que é comum a um número representativo de *stakeholders* (CYERT; MARCH, 1992).

A identificação dessa comunidade depende da representação desse conhecimento, que deve ser estruturado de maneira a reduzir a complexidade da decisão mediante a simplificação da situação problemática. Segundo Dandurand, Schultz e Rey (2012), a incerteza pode ser tratada por meio da aplicação de determinado conhecimento, no qual reside a compreensão adequada dos fenômenos, bem como de seus componentes e respectivos relacionamentos. Há, portanto, a necessidade de identificar e caracterizar os elementos que contribuem de maneira relevante para os eventos incertos (VAN DELDEN et al., 2011). Esse entendimento pode ser obtido desde que, anteriormente, a representação do conhecimento pertencente aos agentes de decisão seja estruturada de alguma maneira (FOSTER, 2011).

Modelos mentais (MMs) são instrumentos para estruturar e representar o conhecimento dos tomadores de decisão por meio de linguagem. Os MMs têm ganhado importância na tentativa de entender e solucionar problemas desde que o Clube de Roma⁴ pediu que Jay Forrester⁵ utilizasse sua Dinâmica dos Sistemas para descrever a economia mundial, o que culminou com a edição do livro “Limites do Crescimento” de Meadows et al. (1972). Em seguida, Axelrod (1976)

³ Escola de Carnegie é o nome dado ao movimento intelectual da década de 1960 que era liderado por Hebert A. Simon, James G. March e Richard M. Cyert na *Carnegie Mellon University*. Esse movimento se destacou pela introdução da psicologia cognitiva em estudos de Administração e Economia e pela produção de teorias referentes ao comportamento organizacional.

⁴ Clube de Roma é uma organização internacional composta por profissionais de diversos setores da sociedade, que se reúne com o intuito de discutir temas relevantes que traduzem preocupações acerca do futuro do planeta.

⁵ Jay Wright Forrester (14 de julho de 1918) é um engenheiro da computação estadunidense e professor emérito da *Sloan School of Management* do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Em 1982, venceu o prêmio de Pioneiro da Computação do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). Em 1989, foi condecorado com a medalha estadunidense de Tecnologia e Inovação (*National Medal of Technology and Innovation*).

introduziu o conceito de Mapas Cognitivos (MCs), modelos baseados em representações gráficas de relacionamentos de causa e efeito, para a estruturação dos problemas e viabilização da busca por soluções. Esses modelos oferecem tratamento à incerteza reduzindo a complexidade do processo decisório por meio da possibilidade de abstração da realidade. Os mapas cognitivos auxiliam os tomadores de decisão a abstrair o ambiente por sobre o qual pretendem decidir, apoiando o processo de tomada de decisão (WARMINK et al., 2010).

De acordo com van Kouwen, Schot e Wassen (2008), os modelos realizam a integração entre o entendimento dos agentes de decisão a partir da simulação de resultados e da consideração de possíveis cenários (SALMERON; VIDAL; MENA, 2012). Essa integração resulta uma compreensão que deve servir de base para a confecção de políticas e para proposta de ações oriundas da análise da representação de determinada quantidade de informação (AUMANN, 2011). A modelagem dos fenômenos assume o papel de mediador entre a informação que serve de entrada para as simulações e os agentes responsáveis por decidir. Essa mediação é fundamental para obtenção de soluções definidas pela base de conhecimento pertencente aos tomadores de decisão (STERK; VAN ITTERSUM; LEEUWIS, 2011). Por isso, a comparação entre determinado número de modelos é fundamental para obtenção de uma descrição compartilhada dos fenômenos que se pretende gerenciar.

Segundo Perry et al. (2012), a relação de dependência entre a tomada de decisão e capacidade cognitiva do agente de decisão acaba por compor um processo delicado, extremamente sensível a ruídos e sujeito a erros. A procura por escolhas mais acuradas, antes associadas à lentidão, encontra na computação um instrumento para obtenção de celeridade na opção por alternativas mais assertivas. Nesse sentido, busca-se respaldar os processos decisórios por meio da automatização da análise, comparação e de gestão do conhecimento dos agentes de decisão (LÓPEZ-NICOLÁS; MEROÑO-CERDÁN, 2011), por meio do desenvolvimento de sistemas inteligentes de apoio à decisão (SIAD) (BEN-ZVI, 2012). Muito além de automatizar e reproduzir as capacidades cognitivas dos *stakeholders*, esses sistemas devem articular e criar sinergia entre diversas competências, otimizando a utilização e a valorização do conhecimento por meio do estabelecimento de uma “inteligência coletiva” (LÉVY, 2010).

1.2 Problemática

A representação do conhecimento de posse dos agentes de decisão depende fundamentalmente de linguagem natural (WU; XU, 2012), o que acaba por tornar a análise dos MMs pouco rigorosa (SCHAFFERNICHT, 2010) naquilo que diz respeito à dificuldade e, em algumas vezes, impossibilidade de tradução das relações de causalidade para modelos matemáticos e computacionais (MELNIK, 2009). Essa dificuldade para converter os modelos em linguagem computacional é percebida principalmente quando se considera que os algoritmos de análise e comparação são pouco flexíveis, pois geralmente se estabelecem sobre matrizes, equações diferenciais e métodos matemáticos discretos. Esses métodos assumem a lógica clássica aristotélica baseada na certeza e na bivalência, enquanto a realidade é dotada de nuances e, como já foi dito, incerteza. (CARVALHO, 2013; CARVALHO; TOMÉ, 1999a, 1999b, 2001a, 2001b).

Faz-se necessária, então, a estruturação de um método matemático flexível que permita avaliar, numericamente, as semelhanças e diferenças existentes entre os diversos MMs componentes de um processo de tomada de decisão colaborativa. Dessa avaliação numérica depende a identificação do conhecimento comum pertinente a uma visão compartilhada da realidade e, por conseguinte, a redução da complexidade do processo de tomada de decisão.

1.3 Considerações iniciais

Zadeh (1965) introduziu um conceito mais flexível para traduzir matematicamente a imprecisão da linguagem e a multivalência característica à realidade. Esse conceito se apoia sobre a proposta de uma lógica alternativa baseada em Conjuntos Nebulosos (também chamados de Conjuntos Difusos, ou ainda Conjuntos Fuzzy), instituindo a possibilidade de representação de valores parciais. Dessa maneira, é possível capturar a gradação inerente à linguagem humana e mensurar os níveis de incerteza e imprecisão (DUBOIS; PRADE, 2012; SALMERON, 2012; ZADEH, 1965, 2008), permitindo formalizar com maior rigor as relações de causalidade de um modelo mental. Essa formalização viabiliza a comparação e análise computacional de diversos desses modelos.

1.4 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo principal desenvolver e aplicar um método matemático para análise e comparação de modelos mentais que possibilite identificar os modelos mais adequados ao consenso típico de um processo de tomada de decisão colaborativa.

1.5 Metodologia

O desenvolvimento do método matemático para análise e comparação de modelos mentais se estabelece mediante a construção de uma base de conhecimento que se utiliza de doze parâmetros inspirados em conceitos advindos da revisão bibliográfica e do método das distâncias (Seção 4.1.1). Essa base consiste de sessenta regras de inferência do tipo “Se/Então” (ver Seção 5.1.3) que assumem variáveis nebulosas e termos linguísticos denotados por funções de pertinência trapezoidais e triangulares (ver Seção 5.1.2).

As regras nebulosas são utilizadas para analisar a estrutura interna dos modelos, seus elementos e relações (análise intramodelo) enquanto comparam essas estruturas com as de outros modelos já existentes (comparação intermodelo). A confecção da base se dá a partir de um mecanismo de inferência baseado em encadeamento para frente que é implementado por meio da utilização do método de Mamdani (ver Seção 3.3.1). Também é utilizado um método de conversão linguístico-numérica (defuzificação) que se fundamenta sobre o cálculo do centro de gravidade dos conjuntos nebulosos (ver Seção 3.4).

A base de conhecimento foi automatizada por meio da linguagem *Phyton* e serviu de insumo para o desenvolvimento de um sistema inteligente de apoio à decisão (SIAD) que avalia a representatividade de cada modelo mental associado a um determinado fenômeno. O sistema permite o cadastramento e avaliação de todos os elementos dos MMs e suas respectivas relações de causalidade, bem como todos os atributos (polaridade, atrasos, etc.) referentes a esses relacionamentos. Os elementos, relações e atributos são definidos conforme os conceitos da Dinâmica dos Sistemas que são apresentados na Seção 2.3.

Finalmente, o SIAD foi utilizado em um estudo de caso para analisar e comparar os MMs utilizados por 148 universitários para descrever os protestos ocorridos no Brasil entre os meses de junho e julho de 2013 (ver Seção 6.1 e Seção 6.2). Os resultados foram validados estatisticamente a partir da Análise de Pareto (ver Seção 6.3.1).

1.6 Estrutura do texto

Este documento está organizado, essencialmente, em três partes. A primeira parte, composta pelo Capítulo 1, que se seguiu, é contextual. Nessa parte foram introduzidas a motivação e a problemática, que são fundamentais para o entendimento do objetivo e metodologia deste trabalho.

A segunda parte é conceitual e se refere ao referencial teórico que está dividido em três capítulos. O Capítulo 2 apresenta toda a descrição dos conceitos que dizem respeito aos modelos mentais, enquanto o Capítulo 3 se dedica a introduzir fundamentos de Lógica Nebulosa. O Capítulo 4 apresenta o estado da arte por meio do levantamento de trabalhos correlatos.

A terceira parte trata da aplicação dos conceitos apresentados nos capítulos anteriores. O Capítulo 5 se dedica à descrição do desenvolvimento do método proposto, já o Capítulo 6 transcreve os resultados da aplicação deste método em um estudo de caso. O Capítulo 7 apresenta a conclusão deste trabalho indicando suas contribuições.

2 Modelos mentais

Que nem nossos pensamentos, nem as paixões, nem as ideias formadas pela imaginação existem fora da mente todos irão conceder. E parece não menos evidente que as várias sensações ou ideias impressas nos sentidos, mesmo misturadas e combinadas umas com as outras (isto é, qualquer objeto que elas compõem) não podem existir de outra forma senão em uma mente. (BERKELEY, 2010)

Este capítulo oferece uma visão geral e histórica do conceito de modelo mental. Aqui é realizada uma revisão da literatura que apresenta alguns tipos de modelos mentais (MMs) e metodologias de modelagem, bem como suas propriedades, principais características e aplicações.

2.1 Visão geral e histórica

A solução de um problema está necessariamente associada ao modo pelo qual aquele que se propõe a resolvê-lo compreende e abstrai a situação problemática. Essa abstração constitui um processo cognitivo de geração de conhecimento por meio da integração de conceitos e ideias que explicam os fenômenos que são percebidos e por sobre os quais se pretende decidir (KIM, 2012). Esse processo cognitivo conecta o tomador de decisão ao mundo e à realidade exterior (ZHANG, 2012), produzindo um tipo de conhecimento que contém crenças, valores e princípios muito particulares ao indivíduo, mas que acabam por influenciar todo o processo decisório (SCHAFFERNICHT; GROESSER, 2011).

Desde o século XVIII, a discussão em torno da percepção e interpretação da realidade — baseada em simulações e modelos produzidos pela mente — despertou o interesse da Filosofia e da Ciência. Esse tema esteve presente, por exemplo, no imaterialismo de George Berkeley⁶ e, um

⁶ George Berkeley (12 de março de 1685 – 14 de janeiro de 1753), o Bispo de Cloyne, foi um filósofo irlandês que se ocupou da investigação das relações entre mente, percepção e realidade. Suas principais obras são *An Essay Towards a New Theory of Vision* de 1709, *A Treatise Concerning the Principles of Human Knowledge* de 1710 e *Three Dialogues between Hylas and Philonous* de 1713, que sintetizam seu pensamento sob o princípio *Esse est percipi*, i.e. “Ser é ser percebido”, no qual se funda a teoria do imaterialismo.

século depois, no centro de uma polêmica⁷ envolvendo Lord Kelvin e James Maxwell. A interpretação da realidade por meio da construção de imagens mentais foi o principal argumento utilizado pelo físico austríaco Ludwig Boltzmann⁸ ao defender a importância de raciocínios teóricos. Essa mesma ideia, a de que usamos modelos para representar os fenômenos de maneira icônica por meio de linguagem, também foi tema da filosofia de Ludwig Wittgenstein⁹ (1968) e da semiótica e pragmatismo de Charles Peirce¹⁰ (JOHNSON-LAIRD, 2004, 2013).

Até esse período é possível identificar uma “Teoria do Modelo” voltada para o método científico, para as discussões metafísicas e para a linguística. O desenvolvimento das Ciências Cognitivas, no entanto, impeliu Kenneth Craik¹¹ a publicar o livro *“The Nature of Explanation”*, no qual também sugeriu a existência de construtos mentais oriundos da percepção que se tem da realidade. Todavia, a diferença da abordagem de Craik (1943) se deu no fato de que, para ele, esses modelos são produzidos pela mente a partir da experiência e utilizados, posteriormente, na tentativa de predição de eventos similares. Essa conclusão foi confirmada em 1948 por um estudo, conduzido por Edward Tolman, que introduziu o conceito de Mapas Cognitivos ao detectar que o cérebro de ratos criava mapas do ambiente e que isso permitia aos animais antecipar algumas de suas reações.

A inclusão de uma dimensão temporal associada à influência da memória (passado) e da capacidade de interpretar fenômenos do presente para viabilização de ações futuras abriu

⁷ A polêmica envolvendo os físicos britânicos William Thompson (Lord Kelvin) (26 de junho em 1824 – 17 de dezembro de 1907) e James Clerk Maxwell (13 de junho de 1831 – 5 de novembro de 1879) deveu-se ao fato de que o primeiro se recusou a aceitar as equações de Maxwell para o eletromagnetismo sob a justificativa de que seu entendimento dependeria da construção de um modelo mecânico para elas, o que era impossível. O segundo, por sua vez, alegou possuir um modelo mecânico em sua própria mente quando do desenvolvimento de sua teoria.

⁸ “A tarefa da teoria consiste da construção de uma imagem do mundo exterior que é puramente interna e deve ser a nossa estrela guia para o pensamento e a experiência, isto é, por assim dizer, o processo de pensar e executar em nível global aquilo que ocorre em pequena escala dentro de nós, sempre que formamos uma ideia.” (BOLTZMANN, 1889, tradução minha)

⁹ Ludwig Wittgenstein (26 de abril 1889 – 29 de abril de 1951) foi um filósofo austríaco que se ocupou do estudo dos papéis da linguagem e da lógica para representação da realidade. Publicou sua obra-prima *Tractatus Logico-Philosophicus* em 1922, defendendo sua Teoria Icônica da Linguagem, na qual se refere às proposições como imagens da realidade.

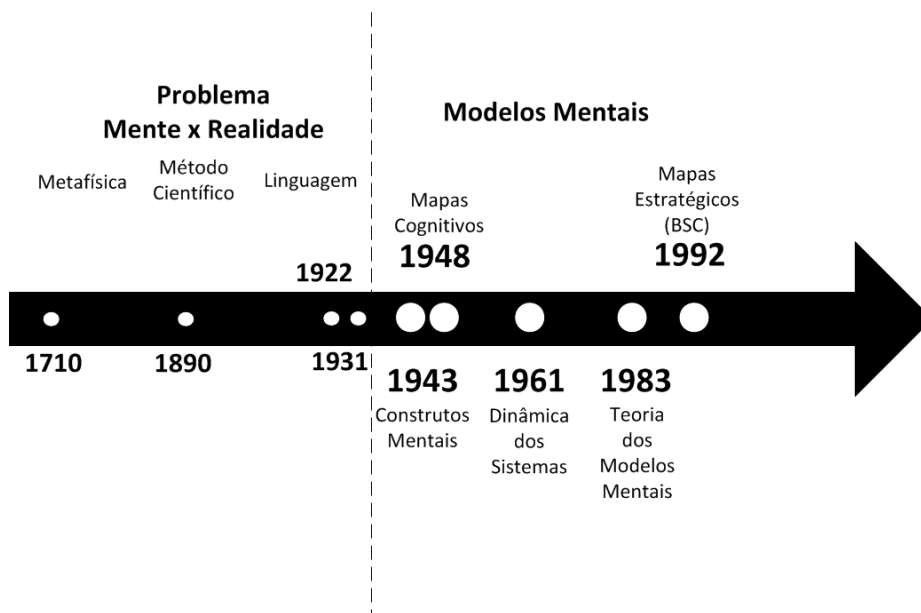
¹⁰ Charles Sanders Peirce (10 de setembro de 1839 – 19 de abril de 1914) foi um lógico estadunidense que aplicou conceitos lógicos à semiose, contribuindo para a criação da Semiótica. Sua teoria de categorias de pensamento e sua obra *How to make our ideas clear* rendeu-lhe o título de pai do pragmatismo.

¹¹ Kenneth J. W. Craik (1914-1945) foi um psicólogo britânico, cujo trabalho antecipou a ideia de que o raciocínio humano possui propriedades que permitem comparar o funcionamento da mente ao de uma máquina e, por isso, é considerado um dos precursores das Ciências Cognitivas e da Cibernética.

precedentes fundamentais para o surgimento da Cibernética e para utilização de modelos mentais em processos de tomada de decisão.

Embora a Teoria de Modelos Mentais tenha sido publicada apenas na década de 1980, é possível perceber que o estudo da modelagem da realidade por meio da investigação do pensamento humano — de onde provém os modelos — é ponto de antigo interesse da Computação, Filosofia, Linguística, Lógica, Psicologia e Pesquisa Operacional. Assim diversas teorias e conceitos foram desenvolvidos, muitas vezes paralelamente, como mostra a linha do tempo da Figura 1.

Figura 1 – Os MMs ao longo da história



Fonte: Produção do próprio autor.

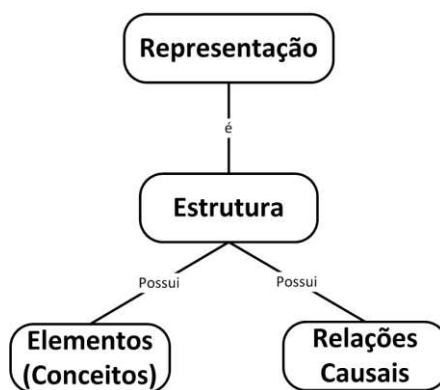
2.1.1 Teoria dos modelos mentais

Em 1983, Philip Johnson-Laird¹² apresentou sua Teoria dos Modelos Mentais em “*Mental*

¹² Philip Johnson-Laird (12 de outubro de 1936) é um psicólogo britânico e professor no departamento de Psicologia da *Princeton University*. Muito celebrado por seus estudos sobre cognição, inferência e raciocínios humanos propôs a Teoria dos Modelos Mentais. Possui experiência de mais de 30 anos em estudos sobre modelos mentais, é autor do livro *How we reason?* publicado em 2006 e de uma vasta produção científica acerca do tema.

Models: Toward a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness”, por meio do qual defendeu que todo o raciocínio humano — tanto o dedutivo quanto o indutivo — é estabelecido através de artefatos proposicionais que descrevem a realidade por meio das relações de causalidade existentes entre conceitos que compõem os fenômenos (JOHNSON-LAIRD, 1983, 2004, 2006, 2010, 2012, 2013). Essa definição voltada para uma representação baseada em relações causais entre elementos de permite assumir uma estrutura conceitual para os MMs apresentada pela Figura 2.

Figura 2 – Estrutura conceitual de um MM

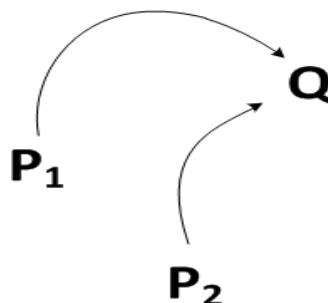


Fonte: Produção do próprio autor.

Johnson-Laird (1983, 2012, 2013) enfatiza que esse tipo de descrição se estabelece sobre símbolos e imagens, cuja manipulação é, fundamentalmente, dependente de linguagem natural e silogismos lógicos. Ali, Chater e Oaksford (2011) descrevem os MMs como representações do raciocínio humano baseadas no que a Lógica chama de *Modus Ponens* (MP), isto é, regras de inferência do tipo “Se... então”. Essas regras de produção são constituídas por uma premissa composta por um ou mais conceitos antecedentes (P_1 e P_2) que implicam uma conclusão composta por um conceito consequente (Q), como é formalmente apresentado na Fórmula (2.1) e ilustrado na Figura 3.

$$P \vdash Q \tag{2.1}$$

Figura 3 – Modelo mental



Fonte: Produção do próprio autor.

Segundo Johnson-Laird (2007), um MM é uma representação de conhecimento tácito e, sugestivamente, habita a mente de um indivíduo, não podendo subsistir fora dela. Assim, quando, de alguma maneira, o conhecimento é externalizado¹³ (NONAKA; TAKEUCHI, 2008), isto é, quando se tem uma representação de conhecimento explícito, estamos tratando de um mapa conceitual ou modelo causal (KIM, 2012). Devido à diversidade de ideias e autores utilizados neste trabalho, houve a escolha pela extensão do significado do termo modelo mental, de modo a optar por uma definição mais abrangente que contempla todos os conceitos abordados neste capítulo.

Nas seções subsequentes são apresentados os conceitos de Mapas Cognitivos, de Mapas Estratégicos e da Dinâmica dos Sistemas, uma metodologia que adota um tipo específico de mapas conceituais (ou modelos mentais, como prefere esta dissertação), que ao longo da história tem sido utilizada no apoio ao processo de tomada de decisão.

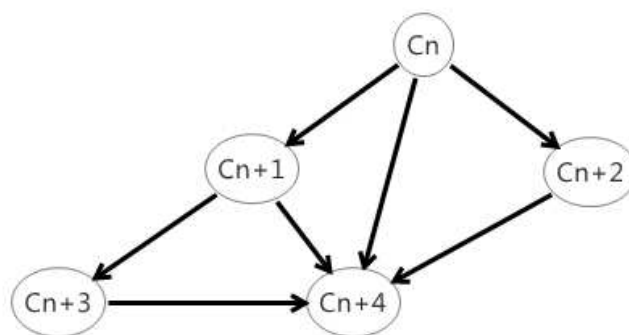
2.2 Mapas Cognitivos (MCs) e Mapas Estratégicos (MEs)

As descobertas de Tolman (1948) e a possibilidade de estruturação visual do entendimento de um problema pareceram muito atraentes para as Ciências Humanas e Sociais, sempre

¹³ A externalização do conhecimento constitui uma das etapas do processo SECI de criação do conhecimento proposto por Nonaka e Takeuchi (2008). O acrônimo SECI (Socialização-Externalização-Combinação-Internalização) diz respeito a todas as possibilidades de conversão entre os tipos de conhecimento (tácito e explícito) que são base para aos processos de criação e transferência de conhecimento.

envolvidas com fenômenos complexos e não lineares. Em 1976, o livro “*Structure of decision: The Cognitive Maps of Political Elites*” de Robert Axelrod¹⁴ introduziu o conceito de Mapas Cognitivos (MCs) aplicados à análise da dinâmica dos fenômenos (AXELROD, 1976). Os MCs oferecem apoio à decisão por meio do estabelecimento de cenários a partir da extração do conhecimento do decisor a respeito do evento que se pretende modelar. Esse conhecimento é representado graficamente, como pode ser visualizado na Figura 4. Os nós representam conceitos ($C_n, C_{n+1}, C_{n+2}, C_{n+3}, C_{n+4}$) ligados por arestas que denotam as relações de causalidade existentes entre eles

Figura 4 – Mapa cognitivo (MC)



Fonte: Produção do próprio autor.

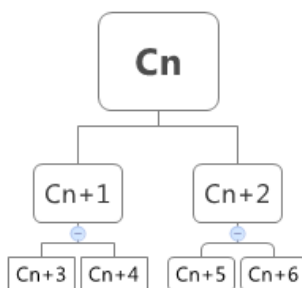
A grande vantagem desse tipo de abordagem é que ela se configura de modo a não só capturar a percepção dos tomadores de decisão acerca dos problemas, como também comunicar suas impressões, evidenciando idiossincrasias que poderiam prejudicar a obtenção de soluções. Nesse sentido, a década de noventa do século passado se destacou pela adoção de Mapas Estratégicos (MEs) por parte das corporações. Nos MEs, as relações de causa e efeito existentes entre ações e objetivos ($C_n, C_{n+1}, C_{n+2}, C_{n+3}, C_{n+4}, C_{n+5}, C_{n+6}$) de determinada empresa são representadas visualmente a fim de identificar processos-chave, atividades críticas e pontos

¹⁴ Robert Axelrod (27 de maio de 1943) é um cientista político estadunidense e professor da *University of Michigan* que dedica seus estudos à teoria da complexidade, no tocante à modelagem e à simulação baseada em agentes, e a problemas envolvendo cooperação. Em 1990, foi o primeiro vencedor do *Award for Behavioral Research Relevant to the Prevention of Nuclear War* da *National Academy of Science* dos Estados Unidos.

cegos. A Figura 5 mostra uma representação hierárquica entre conceitos, sendo que C_n se refere ao objetivo maior da organização, que será obtido a partir da execução de processos e atividades exprimidas pelos demais conceitos.

A descrição da estratégia por meio de uma simples ilustração — como a da Figura 5 — permite uma comunicação clara entre colaboradores, além do alinhamento de recursos, tecnologia e cultura da organização. Por isso, os MEs constituem parte da metodologia de *Balanced Scorecard*¹⁵ (BSC) para indicadores de desempenho (GLYKAS, 2012).

Figura 5 – Mapa Estratégico (ME)



Fonte: Produção do próprio autor.

Na metodologia BSC, os indicadores são agrupados de maneira a conectar os fatores de sucesso à estratégia organizacional a partir de uma relação lógica de causa e efeito. Para isso os grupos de métricas correspondem a quatro perspectivas referentes: ao cliente, ao desempenho financeiro, aos processos internos e ao fator de inovação e aprendizagem (TJADERA et. al., 2014).

2.3 Dinâmica dos Sistemas

Em 1961, foi publicado o artigo “*Industrial Dynamics*” com a proposta de uma metodologia para identificação da estrutura dos problemas na cadeia de produção industrial

¹⁵ *Balanced Scorecard* é uma metodologia de gestão de desempenho muito celebrada desde a década de 1990 pela Administração de Empresas. O BSC é oriundo da *Harvard Business School*, onde foi proposto por Norton e Kaplan (1992).

(FORRESTER, 1961). Para Forrester (1961), a compreensão da medida com a qual determinadas ações influenciavam o comportamento dos fenômenos permitiria a formulação e implementação de soluções mais adequadas. Essa proposta se baseava no surgimento da teoria geral dos sistemas¹⁶ (TGS) (BERTALANFFY, 1950) que privilegiava a visão holística e a utilização da Cibernética¹⁷ (WIENER, 1958) para análise de qualquer sistema ou fenômeno.

O potencial para aplicações diversas permitiu que Forrester (1969, 1971) estendesse seus estudos para a dinâmica das populações e para a questão ambiental. Por influência da Cibernética, a Dinâmica dos Sistemas se constitui num método de análise que se fundamenta na afirmação de que o comportamento de um sistema complexo é resultado da iteração das relações de fluxo, atraso e retroalimentação de informação entre os elementos de um fenômeno, cujos relacionamentos podem ser traduzidos pelas Fórmulas 2.2 e 2.3 (MINGERS; WHITE, 2010). O resultado dessas equações pode ser linear, exponencial e logarítmico.

$$Estoque_t = Estoque_{t-dt} + dt(Fluxo_Entrada_{t-dt} - Fluxo_Saída_{t-dt}) \quad (2.2)$$

$$\frac{d(Estoque)}{dt} = Fluxo_Entrada_t - Fluxo_Saída_t \quad (2.3)$$

Na Fórmula 2.2, um elemento componente de um fenômeno é representado por seu estado em determinado instante de tempo t . Esse estado é dado pela variável $Estoque_t$, que equivale ao estado anterior desse elemento acrescido pela variação que ele sofreu devido aos fluxos de entrada e saída representados por $Fluxo_Entrada_{t-dt}$ e $Fluxo_Saída_{t-dt}$, respectivamente. Na

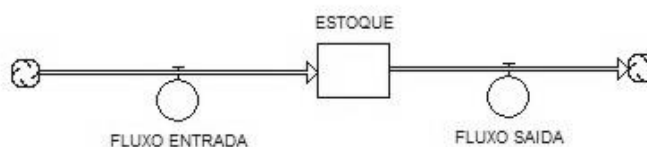
¹⁶ A teoria geral dos sistemas (TGS) foi proposta pelo biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy (19 de setembro de 1901 – 12 de junho de 1972) como uma alternativa à prevalência da abordagem reducionista e especializada da Ciência moderna. O reducionismo especialista se mostrou limitado para análise e resolução de problemas não lineares, ditos complexos. A TGS preza pela interdisciplinaridade e serviu de base para busca pela Ciência Pós-normal (FUNTOWICZ; RAVETZ, 1993).

¹⁷ A Cibernética (ou teoria do controle) é um campo interdisciplinar que visa o estudo dos sistemas de controle e comunicação entre seres naturais e artificiais, a partir dos conceitos de causalidade e retroalimentação. Essa abordagem foi proposta pelo matemático estadunidense Robert Wiener e se consolidou durante as reuniões de um grupo de cientistas, naquilo que foi chamado de *Macy Conferences*, que ocorreram de 1946 a 1953 em Nova Iorque. Participavam dessas reuniões cientistas de diversas áreas, como o polímata húngaro John von Neumann (28 de dezembro de 1903 – 8 de fevereiro de 1957), o psiquiatra britânico W. Ross Ashby (6 de setembro de 1906 – 15 de novembro de 1972) e o neurofisiologista estadunidense Warren McCulloch (16 de novembro de 1898 – 24 de setembro de 1969).

Fórmula 2.3, é representada a taxa de variação $\frac{d(Estoque)}{dt}$ do elemento em determinado instante de tempo. Essa taxa é dada pela diferença entre os fluxos de entrada e saída no mesmo instante t .

Essas fórmulas também podem ser representadas em diagramas de fluxo e estoque, como ilustra a Figura 6. Na ilustração, temos determinado elemento de um sistema representado pelo estoque, que expressa a dimensão desse elemento em determinado instante de tempo. O estoque sofre a influência de taxas de variação por unidade de tempo, representadas pelo fluxo de saída e pelo fluxo de entrada.

Figura 6 – Diagrama de Fluxo e Estoque



Fonte: Produção do próprio autor.

2.3.1 Modelos mentais da Dinâmica dos Sistemas

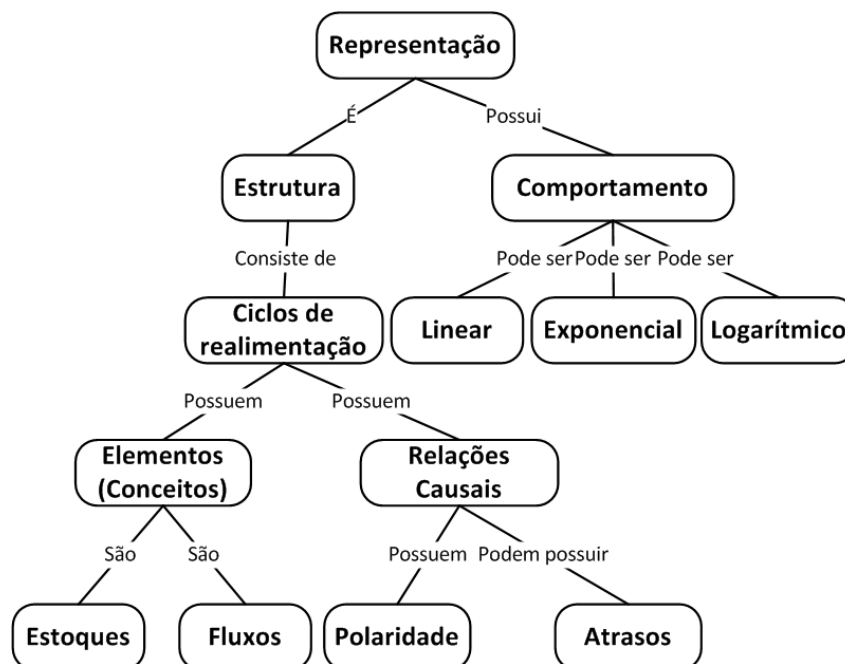
Segundo Forrester (1961), os modelos mentais constituem o cerne da Dinâmica dos Sistemas e, por isso, os diagramas de fluxo e estoque também podem ser convertidos para ciclos de causalidade — denominados “arquétipos” — que indicam o caráter da retroalimentação da informação. A Figura 7 apresenta a estrutura conceitual de um modelo mental da Dinâmica dos Sistemas que consiste de ciclos de realimentação entre elementos (conceitos), que nesse caso, pode ser estoques ou fluxos. Essa estrutura pode se comportar linearmente, exponencialmente ou logaritmicamente.

Schaffernicht (2010) afirma que a Dinâmica dos Sistemas estabelece que dois elementos podem se influenciar por meio de dois tipos de relação: de reforço (R), também denotada pelo sinal (+), ou de balanceamento (B), também representada pelo sinal (-). Ambos os tipos indicam a polaridade da relação entre os elementos que pode ser visualizada na Figura 8. Diz-se que uma

relação é de reforço, quando um elemento influencia outro a ponto de determinar a amplificação dos efeitos associados a este último. Nesse caso, há uma relação diretamente proporcional entre os conceitos.

Em contrapartida, uma relação de balanceamento ocorre quando a influência de um elemento sobre o outro ocorre de maneira inversamente proporcional, ou seja, quando um elemento possui um comportamento crescente (ou decrescente) e acaba por determinar um comportamento decrescente (ou crescente) ao outro elemento. Essa influência acontece até que uma relação de estabilidade entre os conceitos seja estabelecida.

Figura 7 – Estrutura conceitual de um MM da Dinâmica dos Sistemas

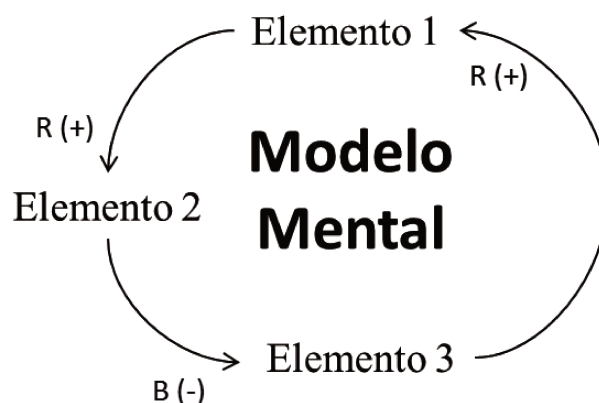


Fonte: Adaptado de (SCHAFFERNICHT, 2010)

A partir dessa metodologia, principalmente por meio das fórmulas diferenciais associadas às relações de causalidade, é possível estabelecer cenários e realizar simulações cujos resultados oferecem um panorama do comportamento do sistema, se este for submetido aos parâmetros utilizados. Por esse motivo, a Dinâmica dos Sistemas voltou a despertar interesse a partir da

publicação do livro “*Fifth discipline*” (SENGE, 1990), que destacou a utilização dessa metodologia em contextos empresariais de gestão e planejamento estratégico.

Figura 8 – Polaridade dos ciclos de retroalimentação



Fonte: Produção do próprio autor.

2.4 Modelos mentais compartilhados e inteligência coletiva

A partir de 1990, a Escola de Carnegie e suas teorias da racionalidade limitada — mencionadas na Seção 1.1 — encontraram consonância na noção de aprendizagem corporativa (SENGE, 1990), na crescente complexidade dos problemas, na evolução das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs). Logo, o apelo por processos decisórios cada vez mais distribuídos e plurais fomentaram a necessidade de compartilhamento de conhecimento, experiências e visões (SCONTRAS, GRAFF, GOODMAN, 2012).

Nesse contexto, Pierre Lévy¹⁸ (2003) cunhou o termo “Inteligência Coletiva”, cuja definição foi apresentada em livro homônimo para descrever uma inteligência distribuída, interativa e coordenada. Em sua clássica obra “Cibercultura”, o filósofo volta a fazer referência

¹⁸ Pierre Lévy (2 de julho de 1956) é um filósofo tunisiano e professor da *University of Ottawa*. É um dos fundadores da Filosofia da Informação, dedicando-se ao estudo das relações entre a tecnologia, a informação e a sociedade. Suas principais obras são *Les technologies de l'intelligence* de 1990, *L'intelligence collective: Pour une anthropologie du cyberspace* de 1994 e *Cyberculture* de 1997. É um dos criadores do mecanismo de árvores de conhecimento (*arbres de connaissances*) e da linguagem *Information Economy Meta Language* (IEMML) para web semântica.

ao conceito, sugerindo a ideia de um MM comum apoiado pela informática e proporcionado por tecnologias que permitem o compartilhamento de conhecimento.

Trata-se de uma tecnologia intelectual que amplifica a imaginação individual (aumento de inteligência) e permite aos grupos que compartilhem, negociem e refinem modelos mentais comuns, qualquer que seja a complexidade deles (aumento da inteligência coletiva). Para aumentar e transformar determinadas capacidades cognitivas humanas (a memória, o cálculo, o raciocínio especialista), a informática exterioriza parcialmente essas faculdades em suportes digitais. Ora, uma vez que esses processos cognitivos tenham sido exteriorizados e reificados, tornam-se compartilháveis e assim reforçam os processos de inteligência coletiva (LÉVY, 2010).

Para confirmar esses prognósticos, surgiram as Comunidades de Prática (CoPs) (BETTIOL; SEDITA, 2011; SU-HWAN; YOUNG-GUL; JOON, 2011), as plataformas de Inovação Aberta, o conceito *Crowd* (*Crowdfunding*, *Crowdlearnig* e *Crowdsourcing*), além da emergente utilização das redes sociais virtuais para resolução de problemas e proposição de soluções (ALBORS; RAMOS; HERVAS, 2008; BÜCHELER, SIEG, 2011). Com isso, MMs compartilhados e métodos para analisá-los e compará-los têm despertado grande interesse (KIM, 2012; ZHANG, 2012). Posteriormente, a Seção 4.1 apresenta alguns estudos e considerações acerca desses métodos.

3 Lógica Nebulosa

E quando os especialistas discordam? Calculamos uma média? E se um disser “sim” e o outro “não”? (KOSKO¹⁹, 1986b, tradução minha)

Este capítulo se dedica a oferecer uma visão geral e histórica do conceito de Lógica Nebulosa. Aqui serão apresentadas as principais características da Teoria dos Conjuntos Nebulosos e as propriedades que são fundamentais para a compreensão de regras nebulosas.

3.1 Visão geral e histórica

A partir de Aristóteles²⁰ e desde a Antiguidade, o Pensamento Ocidental se estabeleceu sobre uma lógica bivalente, que assume que variáveis sejam acomodadas por apenas dois valores possíveis, inerentemente opostos e mutuamente exclusivos. Da lógica aristotélica — que começou a ser formalizada por George Boole²¹ e acabou sistematizada por Gottlob Frege²² — proveio a possibilidade de associação de valores formais àquilo que é “verdadeiro” e, também, àquilo que é “falso”. Esses valores se apresentaram como protagonistas de uma Ética científica e epistemológica que prezou sempre pela precisão, em detrimento da certeza.

Todavia, deve-se considerar que a imprecisão é característica do mundo complexo e multivalente, bem como do conhecimento humano que o descreve, geralmente, por meio de linguagem natural, dotada de nuances e conceitos graduais, cuja tradução matemática é, muitas

¹⁹ Bart Kosko (7 de fevereiro de 1960) é engenheiro eletricitista e professor da *University of Southern California*. Foi pioneiro na aplicação de Lógica Nebulosa ao contexto dos modelos mentais.

²⁰ Aristóteles (384 a. C. — 322 a. C.) foi um dos mais conhecidos filósofos gregos de toda a História. Juntamente com Sócrates e Platão, de quem era discípulo, fundou a Filosofia Ocidental. Suas contribuições lógicas, encontradas principalmente em sua obra *Organon*, fazem dele o pai da Lógica.

²¹ George Boole (2 de novembro de 1815 — 8 de dezembro 1864) foi um filósofo britânico, precursor da matemática computacional. Tentou reproduzir matematicamente a lógica contida no pensamento humano em sua obra *The Laws of Thought* de 1854, criando um sistema algébrico que permitiu formalizar raciocínios.

²² Friedrich Ludwig Gottlob Frege (8 de novembro de 1848 — 26 de julho de 1925) foi um matemático alemão responsável pelo descolamento da Lógica do campo da Filosofia, sendo um dos fundadores da Lógica Matemática (moderna). Com o intuito de criar um sistema rigoroso para definir uma demonstração matemática, apresentou o cálculo de predicados em sua obra *Begriffsschrift* de 1879.

vezes, um desafio de impossível resolução principalmente para a lógica booleana (DUBOIS; PRADE, 2012).

Na tentativa de capturar a parcialidade dessa informação vaga e gradual, a fim de mensurar e traduzir matematicamente os níveis de incerteza, Lofti Zadeh²³ publicou, em 1965, o artigo “*Fuzzy Sets*” no qual apresenta sua Teoria dos Conjuntos Nebulosos (também chamados Conjuntos Difusos, ou ainda Conjuntos *Fuzzy*). Essa teoria define elementos de maneira flexível — ultrapassando os limites do “sim” e “não” — de acordo com um grau de pertinência que permite a instituição de valores parciais, mais próximos da ideia contida, por exemplo, em um “talvez”. A Teoria dos Conjuntos Nebulosos compartilha grande parte de suas identidades e operações com os conjuntos ordinários oriundos da Teoria Clássica dos Conjuntos²⁴, apresentando-se como sua extensão natural pelas diversas propriedades comuns.

Contudo, o cerne da Lógica Nebulosa se encontra na ultrapassagem de duas leis clássicas fundamentais: a lei da não contradição e a lei do meio excluído (também conhecida por lei do terceiro excluído). A lei da não contradição proíbe que um elemento possa pertencer de maneira simultânea a dois conceitos opostos. Dessa maneira, a interseção entre um conjunto A e seu complemento A' (de maneira formal, $A \cap A'$) resultaria um conjunto vazio. Quando se trata de Conjuntos Nebulosos, essa simultaneidade é permitida justamente porque há a consideração de valores parciais, o que, por sua vez, fere a lei do meio excluído, que determina que um elemento pertença obrigatoriamente a um conjunto sem conceito intermediário algum.

Segundo Zadeh (2002, 2006, 2008), o “conceito nebuloso” constitui muito mais do que um sistema lógico e aborda também perspectivas epistêmicas e relacionais. Há aproximadamente meio século, a Lógica Nebulosa tem se apresentado como uma alternativa para representação e tratamento de informação imperfeita — conflitante, incerta, imprecisa e parcial — a fim, de possibilitar o armazenamento e manipulação por computadores. Amplamente difundida na Inteligência Artificial, na implementação de sistemas inteligentes, no apoio à tomada de decisão e inferência nas Ciências Gerenciais e na Pesquisa Operacional, é, também, muito utilizada na

²³ Loftali Askar Zadeh (4 de fevereiro de 1921) é matemático e engenheiro eletricitista iraniano, professor emérito da Universidade de Berkeley. Pelo pioneirismo no desenvolvimento da Teoria dos Conjuntos Nebulosos, recebeu a medalha de honra do IEEE em 1995. Também foi agraciado com o *Allen Newell Award* da *Association for Computing Machinery* (ACM) em 2001.

²⁴ Teoria Clássica dos Conjuntos foi proposta pelo matemático alemão Georg Cantor (3 de março de 1845 — 6 de janeiro de 1918) em 1874.

Automação e Controle (AZADEGAN et al., 2011; DUBOIS, 2011; NOVÁK, 2012). Além disso, a granularidade da Lógica Nebulosa também pode ser explorada na quantificação e coalizão de informações para suporte ao estabelecimento de consenso e colaboração (PEDRYCZ et al., 2014). Este capítulo se dedica à exposição dos conceitos nebulosos fundamentais.

3.2 Teoria dos Conjuntos Nebulosos

Considerando que o Universo do discurso possa ser representado por um conjunto X de elementos x (formalmente, $X = \{x_i\}$), então um subconjunto A desse Universo é definido por uma função característica $f_A(x)$ que indica em que medida cada elemento x pertence a esse subconjunto A . Tradicionalmente, a Teoria Clássica dos Conjuntos associa essa função de pertinência a um outro conjunto composto por apenas dois valores, assim $f_A(x): A \rightarrow \{0,1\}$, onde $f_A(x) = 0$ e $f_A(x) = 1$ indicam, respectivamente, que $x \in A$ e $x \notin A$, isto é, que o elemento x pertence e não pertence ao subconjunto A .

Esse subconjunto A se torna nebuloso a partir da ampliação do contradomínio da função característica que pode ser obtida, segundo Zadeh (1965), por meio da simples substituição do conjunto $\{0, 1\}$ pelo intervalo $[0, 1]$. Assim, $f_A(x): A \rightarrow [0,1]$, onde qualquer valor compreendido entre os contradomínios máximo e mínimo indicará o grau de pertinência de determinado elemento x ao conjunto A . Essa substituição permite o aumento da granularidade da descrição dos elementos, bem como a extensão das fronteiras que delimitam os conjuntos, possibilitando a representação de valores parciais.

Um conjunto nebuloso pode ser representado de três formas: tabular, gráfica e analítica. Genericamente, essas tabelas, gráficos e análises se originam a partir de uma representação organizada na Fórmula 3.1 por meio de pares ordenados constituídos pelo elemento do Universo do discurso e pela função de pertinência referente ao conjunto nebuloso A .

$$A = \{(x, f_A(x)) \mid x \in X\} \quad (3.1)$$

3.2.1 Funções de Pertinência

As funções de pertinência, ao oferecerem a medida com que determinado elemento pertence a um conjunto, assemelham-se às funções probabilísticas quando X é um conjunto discreto e, às funções de densidade de probabilidade quando X é um conjunto contínuo. Entretanto, algumas propriedades nebulosas, especialmente as que desafiam a lei da não contradição e a lei do meio excluído — descritas na Seção 3.2 — apontam para o fato de que a ideia de Conjuntos Nebulosos é essencialmente não estatística (ZADEH, 1965).

São essas funções que atribuem características fundamentais aos seus respectivos conjuntos nebulosos para, Dessa maneira, definir os graus de pertinência de um elemento. Essa caracterização passa por três propriedades principais possuídas por essas funções: núcleo, apoio e fronteira.

Considerando o subconjunto nebuloso A de um Universo X , o núcleo diz respeito à região em que a função f_A indica pertinência plena, isto é, na qual o contradomínio assume o valor máximo, como mostra a Fórmula 3.2.

$$\text{núcleo}(A) = \{x \in X | f_A(x) = 1\} \quad (3.2)$$

Se houver, no mínimo, um elemento que pertença plenamente ao conjunto nebuloso, fazendo com que a função de pertinência assuma o valor máximo, o núcleo não é vazio e o conjunto é classificado como normal. Caso não haja esse elemento, o conjunto é dito subnormal.

A Fórmula 3.3 define o apoio dessa mesma função que se refere à região composta pelos elementos para os quais f_A é maior que zero, indicando alguma pertinência ao subconjunto A do Universo X .

$$\text{suporte}(A) = \{x \in X | f_A(x) > 0\} \quad (3.3)$$

A fronteira da função corresponde à região composta por elementos compreendidos no intervalo de pertinência, sem assumir os valores máximo e mínimo, como é possível observar na Fórmula 3.4.

$$fronteira(A) = \{x \in X | 0 < f_A(x) < 1\} \quad (3.4)$$

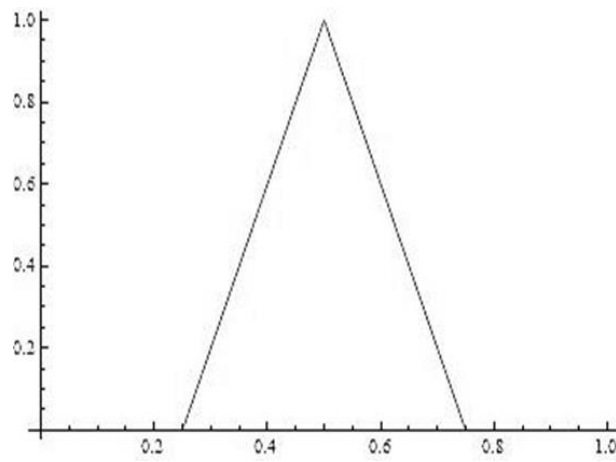
Outra propriedade relevante para a atribuição de características ao conjunto por parte da função de pertinência é a convexidade. Diz-se que o subconjunto nebuloso A é convexo, se a condição enunciada pela Fórmula 3.5 for atendida para quaisquer x_1 e x_2 pertencentes ao Universo X e para qualquer lambda no intervalo entre 0 e 1 (formalmente, $\forall x_1, x_2 \in X; \forall \lambda \in [0,1]$).

$$f_A[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq MIN[f_A(x_1), f_A(x_2)] \quad (3.5)$$

Este trabalho destaca dois tipos de funções de pertinência. Funções triangulares e trapezoidais são comumente utilizadas na Teoria dos Conjuntos Nebulosos. Uma função triangular, exemplificada pelo gráfico da Figura 9, é dada pela Fórmula 3.6, enquanto uma função trapezoidal como a representada pelo gráfico da Figura 10 pode ser obtida a partir da Fórmula 3.7. Nessas fórmulas, a , b , c e d representam o domínio associado aos vértices das funções.

$$f_{A_{triangular}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x \leq c \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (3.6)$$

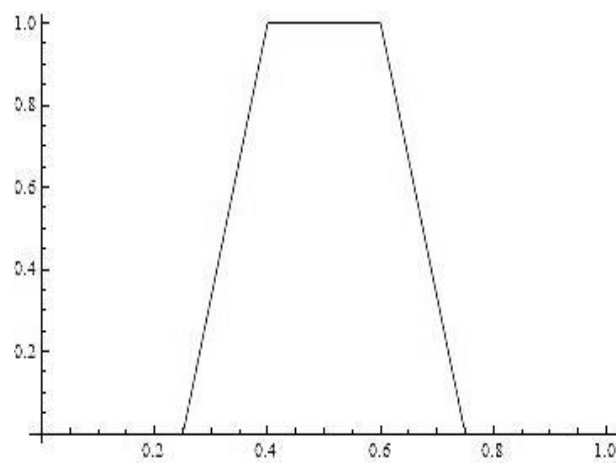
Figura 9 – Função triangular



Fonte: Produção do próprio autor.

$$f_{Atrapezoidal}(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b < x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (3.7)$$

Figura 10 – Função trapezoidal

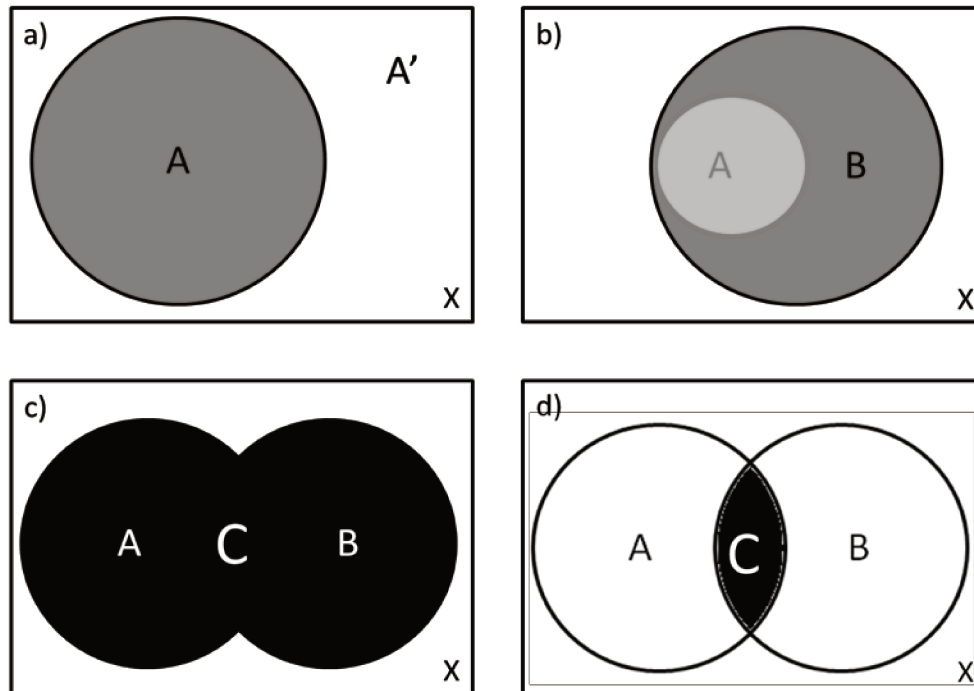


Fonte: Produção do próprio autor.

3.2.2 Operações entre Conjuntos Nebulosos

As operações fundamentais existentes entre os Conjuntos Nebulosos são semelhantes às aquelas descritas pela Teoria Clássica dos Conjuntos: complemento, contenção, união e interseção (que podem ser visualizadas nos Diagramas de Venn da Figura 11). Nelas se deve considerar a dependência existente dos conjuntos para com suas respectivas funções de pertinência. Essas operações, definidas por Zadeh (1965), são apresentadas nos parágrafos que se seguem.

Figura 11 – Operações fundamentais entre conjuntos: **a)** Complemento; **b)** Contenção; **c)** União; **d)** Interseção.



Fonte: Produção do próprio autor.

O Conjunto Nebuloso A possui um complemento A' que descreve elementos que pertencem ao Conjunto Universo e não pertencem à A (formalmente, $x \in X$; $x \notin A$). O conjunto A' é indicado pela função de pertinência complementar denotada na Fórmula 3.8. O complemento serve como base para a operação lógica de negação.

$$A' = f_{A'} = 1 - f_A \quad (3.8)$$

Se forem considerados dois conjuntos nebulosos A e B , pode-se dizer que A está contido em B , ou ainda que A é subconjunto de B , apenas se a função de pertinência associada ao conjunto A for menor ou igual à função de pertinência associada ao conjunto B , para todo e qualquer elemento x , como mostra a Fórmula 3.9.

$$A \subset B = f_A(x) \leq f_B(x) \quad \forall x \in X \quad (3.9)$$

Sobre a noção de contenção, fundamentam-se as outras noções fundamentais para o entendimento das operações nebulosas. A Fórmula 3.10 denota a união entre os conjuntos A e B , que descreve elementos pertencentes a um dos dois conjuntos ($x \in X; x \in A \vee x \in B$). Essa união acaba por implicar um conjunto C (de maneira formal, $C = A \cup B$), cuja função de pertinência $f_C(x)$, para todo e qualquer x do Universo do discurso, assume os valores máximos das outras funções de pertinência. Sobre a união se estabelece a operação lógica de disjunção.

$$A \cup B = f_C(x) = \text{MAX}[f_A(x), f_B(x)] \quad \forall x \in X \quad (3.10)$$

Considerando os mesmos dois conjuntos nebulosos A , B e, ainda, um terceiro conjunto C resultado da interseção entre os dois primeiros composto por elementos que pertençam a ambos os conjuntos ($C = A \cap B = \{x \in X; x \in A \wedge x \in B\}$), têm-se uma função de pertinência $f_C(x)$, para todo e qualquer x do Universo do discurso, que assume os valores mínimos das outras funções de pertinência, como pode ser observado na Fórmula 3.11. A interseção se apresenta como fundamento para a operação lógica de conjunção.

$$A \cap B = f_C(x) = \text{MIN}[f_A(x), f_B(x)] \quad \forall x \in X \quad (3.11)$$

É importante ressaltar que para as operações fundamentais entre Conjuntos Nebulosos descritas nos parágrafos anteriores, são válidas, de acordo com Zadeh (1965), identidades básicas como as Leis de DeMorgan (nas fórmulas 3.12 e 3.13) e as Leis Distributivas, a seguir nas fórmulas 3.14 e 3.15.

$$(A \cup B)' = A' \cap B' \quad (3.12)$$

$$(A \cap B)' = A' \cup B' \quad (3.13)$$

$$C \cap (A \cup B) = (C \cap A) \cup (C \cap B) \quad (3.14)$$

$$C \cup (A \cap B) = (C \cup A) \cap (C \cup B) \quad (3.15)$$

3.3 Relações Nebulosas

Já em seu artigo, Zadeh (1965) descreve uma operação algébrica para denotar relações nebulosas alertando a respeito do importante papel que esse conceito poderia assumir para possibilitar aplicações de seus conjuntos. Isso porque — como foi abordado no Capítulo 1 — a ideia de relação, associação e interação é condição *sine qua non* para a compreensão dos diversos fenômenos do mundo real.

No que diz respeito aos conjuntos clássicos, uma relação é um conjunto de pares ordenados de números reais x e y , tal que $x \geq y$. No tocante aos Conjuntos Nebulosos, a relação se dá pelo produto cartesiano, no qual a função de pertinência incorpora o par ordenado. A relação clássica indica se há ou não relacionamento entre elementos, enquanto a relação nebulosa vai além e aponta para o grau com o qual esses elementos se relacionam.

É possível definir uma relação n -ária nebulosa no universo X em $\mathbb{R}$ como um conjunto nebuloso A proveniente do produto cartesiano $X_i \times X_{i+1} \times \cdots \times X_n$. Assim, a relação nebulosa possuirá uma função de pertinência de forma $f_A(x_i, \cdots, x_n)$, onde $x_i \in X$ e $i = 1, \cdots, n$. A função de pertinência f_A é definida pela Fórmula 3.19.

$$f_A(x_i, \dots, x_n) = f_{A_i}(x_i) \wedge \dots \wedge f_{A_n}(x_n) \quad (3.19)$$

O conceito de Relações Nebulosas é essencial para construção das regras que servem de base para os Sistemas Baseados em Regras Nebulosas (SBRN).

3.3.1 Inferência e Regras Nebulosas

A partir da noção de que se pode indicar uma relação existente entre dois elementos, bem como a medida com que esses elementos se influenciam, pode-se confeccionar uma estrutura de inferência composta por um termo antecedente e um termo consequente. A determinação da dependência mútua entre esses termos possibilita construir regras de produção constituídas de premissas e conclusões (*Modus Ponens* – MP). Essas relações podem ser escritas da seguinte maneira:

Se (Premissa), então (Conclusão).

Quando se trata de uma regra nebulosa, tanto a premissa quanto a conclusão pode ser representada por conjuntos associados a termos linguísticos definidos por funções de pertinência como aquelas que foram apresentadas na Seção 3.2.1. Assim, têm-se graus de pertinência associados aos termos antecedentes (premissas), por meio dos quais são ativadas as ações relacionadas aos termos consequentes (conclusão).

A ativação da conclusão se dá por um mecanismo de inferência baseado em encadeamento para frente. Esse mecanismo confronta as informações relacionadas ao fenômeno avaliado pela regra com as condições impostas por sua premissa e, assim assume uma conclusão. Isso quer dizer que as informações disponíveis dizem respeito aos antecedentes e a partir delas é obtida uma informação associada ao consequente.

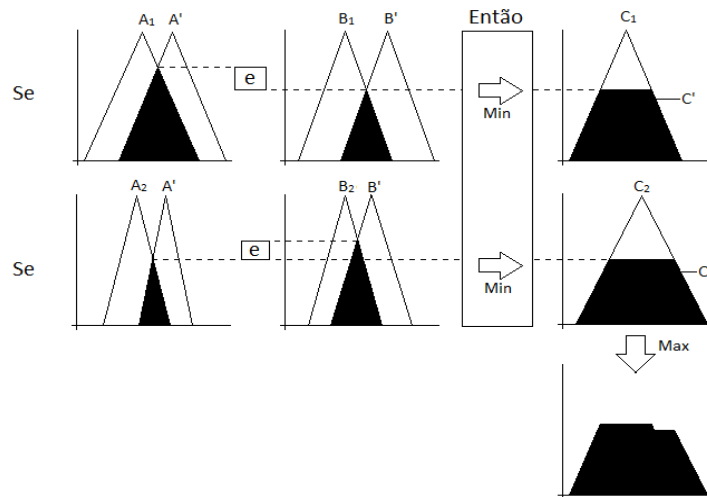
Há regras que consistem de mais de um antecedente, nesse caso, são usadas as operações de conjunção e disjunção apresentadas na Seção 3.2.2. Assumindo que uma premissa pode ser representada por dois conjuntos A em X , B em Y , a conclusão é representada pelo conjunto C em Z , cuja função de pertinência $f_C(z)$ é dada, formalmente, pela Fórmula 3.20, que indica a implicação de Mamdani (MAMDANI; ASSILIAN, 1975).

$$f_C(z) = f_{A \wedge B}(x, y) = \text{MIN}[f_A(x), f_B(y)] \quad (3.20)$$

O método de inferência de Mamdani, ilustrado na Figura 12, ainda considera a possibilidade de convivência de mais de uma regra ativa. Caso isso aconteça, deve ser realizada uma composição dos conjuntos C_n (onde n é o número de regras). Assim o conjunto associado ao conseqüente (conclusão) é dado pela função de pertinência $f_C(z)$ da operação da Fórmula 3.21.

$$f_C(z) = \text{MAX}[f_{C1}(z), f_{C2}(z)] \quad (3.21)$$

Figura 12 – Método de inferência de Mamdani.



Fonte: Adaptado de Jang, Sum e Mizutani (1997).

Na Figura 12, é possível observar a aplicação do método de inferência de Mamdani a duas regras compostas por dois antecedentes A e B — e suas respectivas funções de pertinência f_A e f_B — e por um consequente C, cuja função de pertinência é f_C . O consequente C está associado a um conjunto nebuloso que consiste da união $C_1 \cup C_2$.

3.4 Conversão Linguístico-numérica

Esse capítulo se dedicou a mostrar que os elementos dos Conjuntos Clássicos servem de base para a criação de elementos de Conjuntos Nebulosos. Todavia, valores nebulosos, que são obtidos a partir da aplicação de funções de pertinência a conjuntos nebulosos, nem sempre podem ser diretamente utilizados. Geralmente, há necessidade de sua conversão a um valor numérico novamente para que este possa ser utilizado matematicamente, por exemplo.

Essa conversão linguístico-numérica é também chamada “defuzificação”. A “defuzificação” representa a interpretação do Conjunto Nebuloso que resulta do processo de inferência, por meio da transformação dos valores do conjunto domínio, e seus graus de pertinência correspondentes, em valores rígidos mediante a aplicação de uma fórmula que traduz esses valores em um único valor preciso.

Um Conjunto Nebuloso C definido no domínio de Z , como o que foi apresentado para saída de uma base de regras na seção anterior, pode ser representado por um valor a partir do cálculo do centro de gravidade do conjunto $G(C)$ dado pela Fórmula 3.22, na qual f_C é a função de pertinência do conjunto.

$$G(C) = \frac{\int z \cdot f_C(z) dz}{\int f_C(z) dz} \quad (3.22)$$

Essa fórmula pode ser simplificada, se o domínio contínuo for substituído pelo domínio discreto, logo o centro de gravidade $G(C)$ pode ser definido pela Fórmula 3.23.

$$G(C) = \frac{\sum z_i f_C(z_i)}{\sum f_C(z_i)} \quad (3.23)$$

A conversão linguístico-numérica é de total interesse para os sistemas computacionais, especialmente os sistemas baseados em regras nebulosas, já que computadores obedecem fundamentalmente estruturas binárias representadas pela bivalência da Lógica Clássica.

4 Trabalhos correlatos

Pesquisas têm demonstrado que a compreensão dos modelos mentais parece ser a base para políticas e decisões melhores. A elicitación e comparação desses modelos podem explicar sistematicamente as variáveis-chave e suas principais estruturas subjacentes. (SCHAFFERNICHT; GROESSER, 2011, tradução minha)

Este capítulo apresenta o estado da arte por meio de trabalhos correlatos em dois aspectos principais: métodos para comparação de modelos mentais e aplicação de conceitos de Lógica Nebulosa ao contexto dos MMs.

4.1 Métodos para comparação de modelos mentais

O crescente interesse em modelos mentais compartilhados — discutido na Seção 2.4 — fomentou uma série de estudos, cujo objetivo era o desenvolvimento, obtenção e aplicação de métodos para comparar MMs. O Quadro 1 apresenta alguns desses estudos, detalhando o escopo da comparação de cada trabalho.

Quadro 1 – Estudos acerca da comparação entre modelos mentais

Autores	Escopo da comparação	Abordagem
Lagfield-Smith e Wirth (1992)	Elementos, ciclos e polaridades.	Proporção de distância
Verbugh (1994)	Elementos, ciclos, densidade dos MMs, consideração do tempo.	Proporção de distância
Marcòzcy e Goldberg (1995)	Elementos, ciclos e polaridades.	Proporção de distância
Langan-Fox et al. (2001)	Elementos, ciclos e polaridades.	Proporção de distância
Ritchie-Dunham (2002)	Ciclos comuns.	Proporção de proximidade
Doyle, Radzicki e Trees (2008)	Elementos, ciclos e polaridades.	Proporção de distância
Gary (2008)	Ciclos, polaridade e comportamento dos modelos.	Proporção de proximidade

Quadro 1 – Estudos acerca da comparação entre modelos mentais

Autores	Escopo da comparação	Abordagem
Capelo e Dias (2009)	Ciclos comuns.	Proporção de proximidade
Fokkinga, Bleijenberg e Vennix (2009)	Elementos, elementos semelhantes, ciclos.	Proporção de distância
Plate (2010)	Densidade dos loops e índices de causalidade.	Proporção de distância
Schaffernicht e Groesser (2011)	Elementos, ciclos, polaridades, atraso e modelos.	Proporção de distância

Fonte: Adaptado de Schaffernicht e Groesser (2011)

É possível observar a presença de duas abordagens principais utilizadas pelas propostas: comparação baseados em proporções de distância e proximidade. O cálculo da distância concentra a análise nas diferenças existentes entre MMs, enquanto o cálculo da proximidade aborda as semelhanças. As seções 4.1.1 e 4.1.2 se dedicam à apresentação desses métodos.

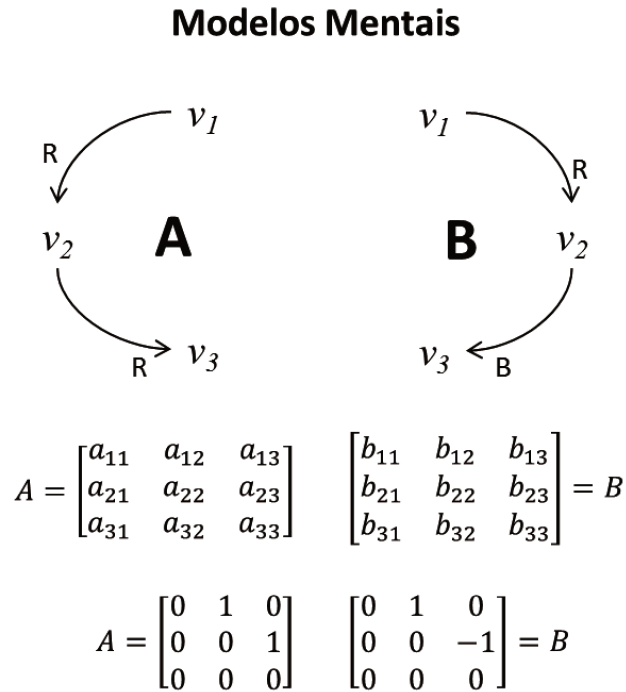
4.1.1 Método das distâncias

Markóczy e Goldberg (1995) estruturam um método de comparação de MMs a partir do estabelecimento de uma Proporção de Distância (PD), dada pela razão entre as diferenças reais e potenciais entre os modelos comparados, como é formalmente apresentado na Fórmula 4.1, a partir das condições das fórmulas 4.2 e 4.3. A Figura 13 apresenta dois modelos mentais *A* e *B*. Cada um possui um número de elementos *V* e seus relacionamentos compõem uma matriz de adjacências $v \times v$ ($a \times a$ no caso do modelo *A* e $b \times b$ para o modelo *B*) de índice *i* para as linhas e índice *j* para as colunas. Na matriz, a polaridade dos relacionamentos é representada pelos sinais + e –, para indicar relações de reforço e balanceamento, respectivamente.

No denominador da Fórmula 4.1, a instância v_c indica a quantidade de elementos comuns a ambos os modelos, enquanto que v_{uA} denota a quantidade de elementos exclusivos ao modelo *A* e v_{uB} ao modelo *B*. O parâmetro α exprime a possibilidade de uma variável se autoinflunciar, β expressa o relacionamento de maior peso, γ determina o grau de importância atribuído às

diferenças existentes entre os modelos, δ aponta se as polaridades são afetadas pela diferença entre os pesos de duas relações causais e ε indica o número possível de polaridades associadas aos modelos.

Figura 13 – MMs e suas respectivas matrizes de adjacência



Fonte: Produção do próprio autor.

$$PD(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^v diff(i, j)}{(\varepsilon\varepsilon + \delta)v_c^2 + \gamma'(2v_c(v_{uA} + v_{uB}) + v_{uA}^2 + v_{uB}^2) - \alpha((\varepsilon\beta + \delta)v_c + \gamma'(v_{uA} + v_{uB}))} \quad (4.1)$$

O numerador da Fórmula 4.1 representa o somatório de diferenças relevantes entre os elementos dos modelos. Esse número de diferenças relevantes é definido pelas condições da Fórmula 4.2, onde V_A representa o conjunto de elementos do modelo A, V_B se refere ao conjunto de elementos próprios ao modelo B e V_C diz respeito ao conjunto de elementos comuns aos dois modelos. As condições determinam que a diferença é “0” para as células localizadas nas diagonais das matrizes. Isso ocorre porque o elemento de um modelo mental não é capaz de se autoinflunciar, isto é relacionar-se consigo mesmo. A diferença existente entre os elementos

comuns (V_C) a ambos os modelos, mas nos quais polaridade não é a mesma, é dada pela diferença dos valores e pelo fato dessa diferença ser considerada importante ou não pelo tomador de decisão. Assim, $\delta = 1$, caso o agente considere a diferença de polaridade importante ou $\delta = 0$, caso contrário.

$$diff(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{se } i = j \text{ e } \alpha = 1; \\ \Gamma(a_{ij}, b_{ij}), & \text{se } i \text{ ou } j \notin V_C \text{ e } i, j \in V_A \text{ ou } i, j \in V_B; \\ |a_{ij} - b_{ij}| + \delta, & \text{se } a_{ij}b_{ij} < 0; \\ |a_{ij} - b_{ij}|, & \text{caso contrário;} \end{cases} \quad (4.2)$$

A diferença entre os elementos exclusivos a um ou outro modelo (V_A e V_B) deve obedecer às condições apresentadas pela Fórmula 4.3. Logo, $\gamma = 0$ indica que o agente decisor não considera a diferença importante, enquanto a existência de importância entre essa diferença é dada por $\gamma = 1$. Se os elementos exclusivos aos modelos não estiverem relacionados a nenhum outro elemento, a diferença entre os elementos dos modelos é “0”.

$$\Gamma(a_{ij}, b_{ij}) = \begin{cases} 0, & \text{se } \gamma = 0; \\ 0, & \text{se } \gamma = 1 \text{ e } a_{ij} = b_{ij} = 0 \\ 1, & \text{caso contrário;} \end{cases} \quad (4.3)$$

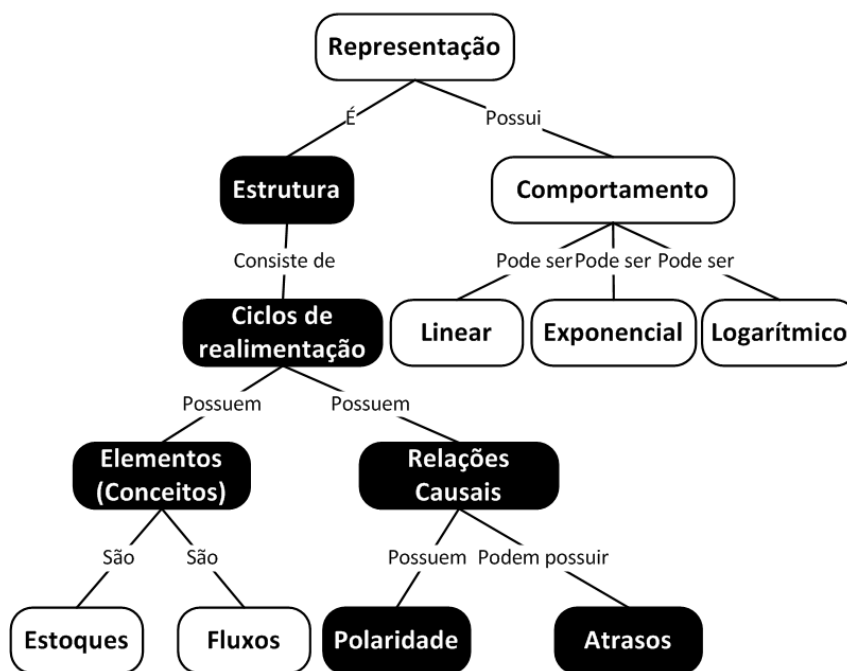
A partir desse conceito e da noção de PD, Schaffernicht e Groesser (2011) incluem características provenientes da Dinâmica de Sistemas, a fim de compor um método mais completo para comparação de modelos mentais. A nova metodologia considera variáveis, suas relações, atrasos e polaridade e estende os níveis de análise contemplando os elementos, os ciclos de realimentação e os modelos, integralmente, como pode ser verificado no Quadro 2 e nos destaques (em preto) da Figura 14. Para considerar todos esses níveis e características, são propostos três conceitos: a Proporção da Distância entre Elementos (PDE), a Proporção da Distância entre Ciclos (PDC) e a Proporção da Distância entre Modelos (PDM).

Quadro 2 – Níveis de Análise e Comparação de modelos mentais

Nível	Característica		Proporção de Distância
Modelo completo	Todos os ciclos de realimentação do Modelo		Proporção da Distância entre Modelos (PDM)
	Proporção da Distância entre Ciclos (PDC)		
Ciclos	Atraso no ciclo de realimentação		Proporção da Distância entre Ciclos (PDC)
	Polaridade do ciclo de realimentação		
	Proporção da Distância entre Elementos (PDE)		
Elementos	Variáveis		Proporção da Distância entre Elementos (PDE)
	Relações Causais	Polaridade	
		Atraso	

Fonte: Adaptado de Schaffernicht e Groesser (2011).

Figura 14 – Níveis analisados da estrutura conceitual de um MM de Dinâmica dos Sistemas



Fonte: Produção do próprio autor.

Tomando a Fórmula 4.1 como ponto de partida, Schaffernicht e Groesser (2011) assumem que uma variável não é capaz de se autoinflunciar e, portanto, $\alpha = 1$. Pelo fato da Dinâmica dos Sistemas possibilitar a representação de relações de atraso, $\beta = 1$ indica uma relação sem atrasos, enquanto $\beta = 2$ denota o contrário. Neste trabalho consideramos apenas modelos mentais que não possuem relações com a propriedade de atraso. Substituindo os valores desses parâmetros ($\alpha = 1, \beta = 1$) temos a Fórmula 4.5.

$$PDE(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p diff(i, j)}{(\epsilon\epsilon + \delta)v_c^2 + \gamma'(2v_c(v_{uA} + v_{uB}) + v_{uA}^2 + v_{uB}^2) - ((\epsilon + \delta)v_c + \gamma'(v_{uA} + v_{uB}))'} \quad (4.5)$$

O conceito de PDE considera que qualquer diferença existente entre os modelos é relevante e por isso $\gamma = 1$. Para a Dinâmica dos Sistemas, os pesos não influenciam as polaridades das relações, assim $\delta = 0$. Substituindo os valores desses parâmetros na Fórmula 4.5, obtém-se a Fórmula 4.6.

$$PDE(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p diff(i, j)}{(\epsilon\epsilon)v_c^2 + (2v_c(v_{uA} + v_{uB}) + v_{uA}^2 + v_{uB}^2) - ((\epsilon)v_c + (v_{uA} + v_{uB}))} \quad (4.6)$$

Como só existem relações de reforço e balanceamento (+ e -), só existem duas possibilidades para representação de polaridade, então $\epsilon = 2$. A substituição dos valores desse parâmetro é realizada na Fórmula 4.6. e resulta a Fórmula 4.7, que define a PDE. Assim, temos que:

$$PDE(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p diff(i, j)}{4v_c^2 + (2v_c(v_{uA} + v_{uB}) + v_{uA}^2 + v_{uB}^2) - (2v_c(v_{uA} + v_{uB}))} \quad (4.7)$$

A PDE resulta um valor contido no intervalo $[0,1]$ no qual o valor mínimo representa a total proximidade e equidade dos modelos e o valor máximo expressa o total afastamento e ausência de elementos comuns.

Um método de comparação entre modelos mentais não pode limitar a sua análise ao nível dos elementos. Por isso, a PDC avança sua compreensão sobre os ciclos de realimentação e indica o grau de diferença existente entre esses ciclos pertencentes aos dois modelos. Mais uma vez, a indicação desse grau se dá sobre o intervalo $[0, 1]$, no qual o valor mínimo expressa a total semelhança, enquanto o valor máximo aponta para total diferença. A Fórmula 4.8 considera a PDE, a diferença entre o número de atrasos $ldd(m,n)$ e a diferença entre as polaridades $lpold(m,n)$ de dois ciclos equivalentes m,n que pertençam a dois modelos diferentes.

$$PDC(m,n) = \eta * ldd(m,n) + \iota * lpold(m,n) + \kappa * PDE(m,n) \quad (4.8)$$

Se ambos os ciclos que estão sendo comparadas possuírem ou não atraso, $ldd(m,n) = 0$, caso contrário, $ldd(m,n) = 1$ (i. e. se apenas um ciclo possuir atraso). Com relação ao parâmetro $lpold(m,n)$, se ambas as relações comparadas possuírem mesma polaridade, $lpold(m,n) = 0$, caso contrário, $lpold(m,n) = 1$. São atribuídos pesos η , ι e κ aos termos referentes às diferenças de importância entre esses parâmetros. Esses pesos são atribuídos pelo tomador de decisão, de modo que $\eta + \iota + \kappa = 1$.

A Proporção da Distância entre o conjunto de todos os ciclos dos modelos comparados compõe a PDM, definida pela Fórmula 4.9, que constitui a medida consolidada das diferenças e semelhanças entre os modelos.

$$PDM(A,B) = \frac{\sum_{l=1}^n PDC(m,n)_l}{n} \quad (4.9)$$

Schaffernicht e Groesser (2011) estabelecem uma escala de comparação composta por três possibilidades para os modelos comparados:

- a) Dois modelos são idênticos se $PDM(m, n) = 0$;
- b) Dois modelos são semelhantes se $PDM(m, n) < 0,25$;
- c) Dois modelos são diferentes se $PDM(m, n) \geq 0,25$.

Essa escala, bem como todo o método apresentada nesta seção serão considerados para a composição da base de conhecimento detalhada na Seção 5.1.

4.1.2 Método da proximidade

Alguns estudos que se dedicaram à comparação de MMs (como aqueles apresentados no Quadro 2 da Seção 4.1) utilizam uma abordagem emprestada da teoria dos grafos²⁵ para verificar a presença de similaridades entre os modelos. Essa abordagem se dá sobre um método de proximidade que traduz os ciclos dos modelos mentais em redes compostas por arestas existentes entre nós, que representam os elementos dos modelos (SCHAFFERNICHT, 2009).

Assim, quando se tomam novamente os modelos mentais A e B apresentados na Figura 11 da seção anterior (Seção 4.1.1), podemos calcular a proporção de proximidade, ou ainda, o grau de similaridade entre esses dois modelos. Para isso, cria-se uma espécie de modelo de referência R que contém todas as arestas (ciclos), e seus respectivos (nós), de cada modelo envolvido na comparação, como definido pela Fórmula 4.10.

$$R = A \cup B \tag{4.10}$$

²⁵ A teoria dos grafos é uma área da matemática inaugurada pelo suíço Leonhard Euler (15 de abril de 1707 – 18 de setembro de 1783) a partir da proposição do problema das Sete Pontes de Königsberg em 1735. Um grafo é uma estrutura composta por nós interligados por arestas usadas para representar redes de todo e qualquer tipo.

A Fórmula 4.11 mostra que matriz de adjacências $r \times r$ de i linhas e j colunas deve ser composta por todas as arestas (ciclos) existentes nos dois modelos. Logo, cada aresta é dada pelas células da matriz que resultam da soma apresentada na Fórmula 4.12.

$$r_{i,j} = a_{i,j} + b_{i,j} \quad (4.12)$$

Por fim, a Fórmula 4.13 representa a comparação pelo método da proximidade que resulta o grau de similaridade GS dado pela razão entre o número de arestas do modelo X (A ou B) que é foco da comparação e do modelo de referência R .

$$GS(X, R) = \frac{\text{número de arestas}(X)}{\text{número de arestas}(R)} \quad (4.13)$$

Caso ambos os modelos mentais sejam idênticos $GS(X, R) = 1$, enquanto que a inexistência de qualquer semelhança entre os modelos será indicada por $GS(X, R) = 0$. No tocante à Dinâmica dos Sistemas, a análise proporcionada pelo método da proximidade se torna limitada e incompleta se considerarmos que se preocupa apenas em comparar a quantidade de ciclos dos modelos. A omissão desse método diante de todas as outras estruturas (elementos, polaridades, atrasos) dos MMs justifica sua desconsideração para composição da base de conhecimento descrita na Seção 5.1.

4.2 Lógica nebulosa e modelos mentais

Quando se estrutura um modelo mental, o conhecimento do tomador de decisão acerca do fenômeno que se pretende modelar é traduzido por meio de relações de causa e efeito. As relações são dotadas de imprecisão, já que elementos podem se influenciar em diversos níveis (GLYKAS, 2012, 2013). Essa granularidade aumenta se for considerado que os modelos mentais são baseados essencialmente em linguagem natural. Nesse sentido, como já foi mencionado

anteriormente, a Lógica Nebulosa se apresenta como opção adequada à representação formal da incerteza associada a variáveis e termos linguísticos utilizados em modelos mentais (ZADEH, 2008).

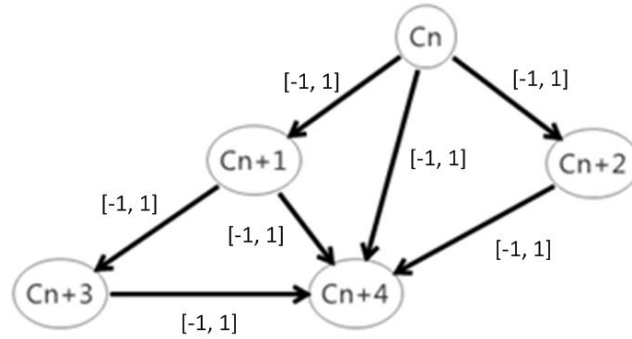
Há, fundamentalmente, duas abordagens utilizadas na aplicação de Lógica Nebulosa para construção e simulação de modelos mentais: Mapas Cognitivos Nebulosos e Mapas Cognitivos Nebulosos Baseados em Regras.

4.2.1 Mapas Cognitivos Nebulosos

Em 1986, Bart Kosko publicou o artigo “Fuzzy Cognitive Maps” no qual introduziu a ideia de Mapa Cognitivo Nebuloso (MCN). Sua proposta era possibilitar a modelação e simulação computacional de conhecimento a partir da análise dos mapas cognitivos (MCs) de Axelrod (KOSKO, 1986), que foram apresentados na Seção 2.2. Um MCN é uma estrutura gráfica utilizada para representar conhecimento por meio da indicação de causalidade entre elementos (conceitos), como qualquer tipo de modelo mental. Essa representação, entretanto, é feita por meio de Relações Nebulosas — apresentadas na Seção 3.3 — que possibilitam estipular em que grau (de pertinência) um elemento pode influenciar outro.

Deve-se considerar que as relações entre elementos de um mapa cognitivo compõem uma matriz de adjacências, cujos pesos acabam por indicar o grau de influência entre os elementos de um mapa cognitivo, como apresentado na Figura 13. Predominantemente, esses pesos se limitam a indicar, de maneira quantitativa, a existência, ou não, das relações por meio da assunção dos valores 1 (em alguns casos, -1) ou 0, respectivamente. Todavia, os elementos do mundo real exercem influências qualitativas, uns sobre os outros, de maneira gradual e multivalente. Kosko (1986), então, utilizou-se de mecanismos da Lógica Nebulosa para tentar reproduzir a natureza linguística dos modelos mentais. Nesse sentido, os pesos das relações podem assumir qualquer valor do intervalo $[-1, 1]$, como pode ser visto na Figura 15. Esses valores são associados a termos linguísticos que descrevem cada uma das relações entre os elementos.

Figura 15 – Exemplo de MCN



Fonte: Produção do próprio autor.

A simulação de determinado fenômeno da realidade por meio de MCNs se dá de maneira iterativa. Desse modo, cada conceito (C_n) é relacionado a um determinado valor que, a cada instante de tempo é calculado a partir dos valores de um conceito ou iteração anteriores, como mostra a Fórmula 4.14.

$$C_n(i+1) = S(y) \left[\sum_{k=1}^N w_{nk} C_k(i) \right] \quad (4.14)$$

Na Fórmula 4.14, w representa o peso do relacionamento, enquanto $S(y)$ deve ser uma função não linear utilizada para normalizar os valores dos conceitos. A acumulação normalizada entre os valores dos conceitos antecedentes implica o valor do conceito consequente. A partir do trânsito de valores por todas as relações entre conceitos acaba por permitir calcular um estado, ou ciclo de estados associados ao comportamento do fenômeno modelado (TSADIRAS; BASSILIADES, 2013).

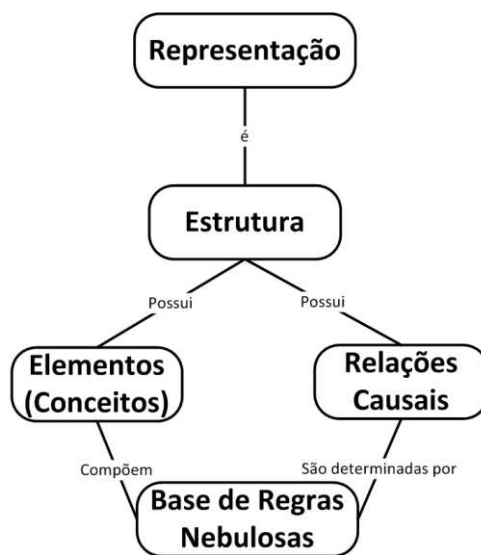
A partir da análise dos valores associados ao comportamento dos fenômenos é possível simular alguns cenários e identificar influências relevantes que podem apoiar os processos de tomada de decisão. Por isso, desde sua proposição os MCNs despertam grande interesse em uma diversidade de aplicações em áreas como sistemas de informação geográfica, detecção de falhas, automação e controle, categorização de textos e, como já foi mencionado, tomada de decisão e

gerenciamento (ELOMDA; HEFNY; HASSAN, 2013; GLYKAS, 2013; SALMERON, 2012; SALMERON; GUTIERREZ, 2012).

4.2.2 Mapas Cognitivos Nebulosos baseados em regras

A ideia de Mapa Cognitivo Baseado em Regras Nebulosas (MCN-BR) vem sendo desenvolvida por João Paulo Carvalho e José Alberto Tomé desde 1999 e considera que a abordagem dos MCNs não aproveita o potencial qualitativo da Lógica Nebulosa. Ao contrário da pretensão de Kosko, Carvalho e Tomé (1999a, 1999b, 2001a, 2001b) interpretam os MCNs como estruturas puramente quantitativas que se comportam como redes neurais tradicionais e que ficam bem aquém daquilo que prometem no que diz respeito à sua capacidade de modelar e simular a realidade. Isso porque, para Carvalho (2013), o verdadeiro caráter qualitativo da Lógica Nebulosa reside na possibilidade de estabelecer relações nebulosas por meio de regras de inferência. Nesse sentido, os MCN-BRs possibilitam representar a causalidade entre conceitos por meio da utilização de bases de regras nebulosas, como mostra a Figura 16.

Figura 16 – Estrutura conceitual de um MCN-BR



Fonte: Produção do próprio autor.

As bases de regras permitem estipular a influência existente entre conceitos por meio da determinação de conjuntos associados a variáveis linguísticas. Cada conceito está associado a funções de pertinência que indicam em que grau um conceito influencia algum outro. As bases são constituídas por regras do tipo “Se... então”, conforme é apresentado na Seção 3.3.1. Os antecedentes e consequentes dessas regras possuem variáveis que estão associadas a funções de pertinência. Essa estrutura permite medir a variação dos consequentes e o grau da variação provocado pelos termos linguísticos em cada relação de causa e efeito entre os conceitos (CARVALHO, 2013).

A aplicação da Lógica Nebulosa à temática dos modelos mentais por meio de regras nebulosas que permitem a representação matemática da natureza linguística desses modelos serve de grande inspiração para a confecção de um método de análise e comparação de MMs que atenda com maior rigor à necessidade de avaliação dessas estruturas. O método de análise e comparação de modelos mentais baseados em regras nebulosas será apresentado no Capítulo 5.

5 Método de análise de modelos mentais

Este capítulo se dedica ao desenvolvimento do método de análise e comparação de modelos mentais. Como já foi exposto na Seção 1.5 — que descreve a metodologia utilizada para execução deste trabalho — a análise de um modelo mental é obtida a partir da confecção de uma base de conhecimento automatizada por meio de um sistema inteligente de apoio à decisão.

5.1 Base de conhecimento

O método de análise de MMs se fundamenta na construção de uma base de conhecimento, cujas variáveis são parâmetros de comparação e análise de modelos mentais. A execução dessa base resulta a indicação de um valor final atrelado a cada MM que é submetido ao método. Esse valor indica o grau de adequação da descrição de determinado fenômeno que é proporcionada pelo modelo de cada tomador de decisão.

A seguir são apresentados os doze parâmetros que compõem a base de conhecimento.

5.1.1 Parâmetros de análise e comparação de modelos mentais

Os parâmetros considerados por essa base são quantitativos e qualitativos. Os parâmetros quantitativos se referem àqueles apresentados na Seção 4.1.1: PDE (proporção de distância entre os elementos dos modelos), PDC (proporção de distância entre os ciclos dos modelos) e PDM (proporção de distância entre os modelos). Logo, a análise quantitativa é, essencialmente, uma comparação “intermodelo” e, por isso, considera características externas, a saber, de outros modelos além daquele que está sendo analisado.

Os parâmetros qualitativos se referem à análise das características internas de cada MM ao levar em conta o caráter idiossincrático (JOHNSON-LAIRD, 2013) dos modelos

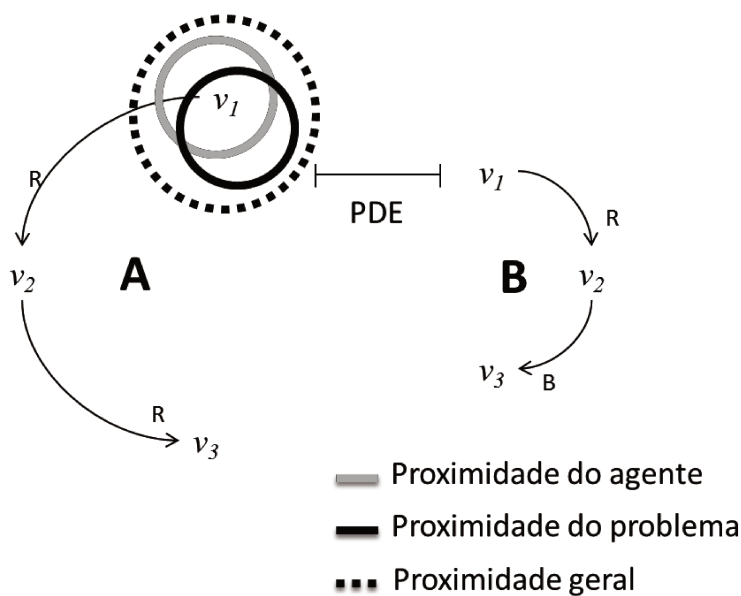
mentais, isto é a maneira pela qual o agente tomador de decisão seleciona e relaciona os conceitos para descrever a realidade. Para representar uma medida de idiosincrasia foram estabelecidos dois parâmetros iniciais com os quais se inicia uma análise “intramodelo”.

O primeiro parâmetro avalia a proximidade do agente tomador de decisão aos elementos do modelo mental e é chamado de *Proximidade do agente*. Essa medida de proximidade é dada pelo próprio agente tomador de decisão de acordo com seu grau de experiência e conhecimento em relação a determinado elemento do modelo.

Alguns elementos têm maior influência na descrição de um problema do que outros elementos do MM. Assim, o segundo parâmetro diz respeito ao grau de influência que cada elemento do modelo mental exerce sobre o problema que está sendo representado. Esse parâmetro é chamado de *Proximidade ao problema*. Dessa maneira, cada elemento está associado aos parâmetros: *Proximidade do agente* e *Proximidade ao problema*. Desses dois parâmetros resulta uma *Proximidade geral* de cada elemento ao problema que está sendo representado.

A Figura 17 ilustra a aplicação dos parâmetros citados a cada elemento de um modelo.

Figura 17 – Análise de relevância de um elemento

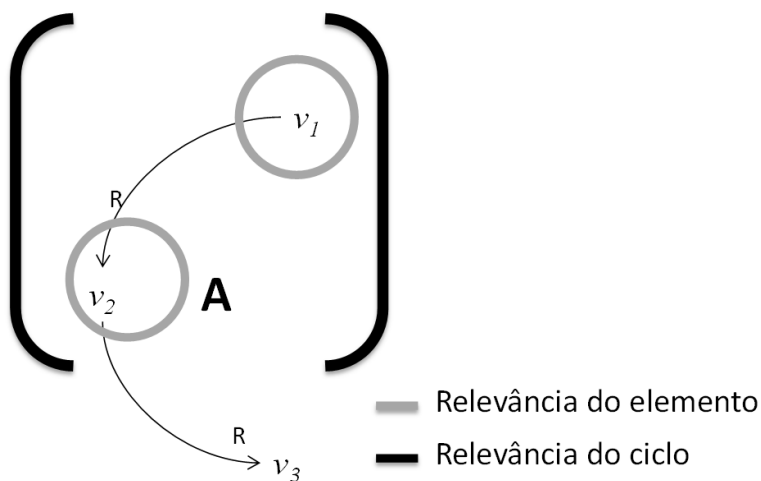


Fonte: Produção do próprio autor.

Além disso, a Figura 17 ilustra a comparação com os elementos de outro MM, por meio da consideração da PDE. Essas comparações concluem a análise “intramodelo” e a comparação “intermodelo” no nível dos elementos de um MM, apresentando a relevância desses elementos para descrição do problema. A *Relevância do elemento* diz respeito à adequação da utilização de determinado elemento percebido pelo tomador de decisão para descrever a situação e reduzir a incerteza no processo de tomada de decisão (COSJIN; INGWERSEN, 2000). Assim, a relevância de um elemento é obtida a partir da *Proximidade geral* e da PDE.

O próximo parâmetro a ser considerado para a análise intramodelo diz respeito ao nível das relações de um modelo (que aqui são chamadas de ciclos, em acordo com a Dinâmica dos Sistemas): *Relevância do ciclo*. A relevância das relações é determinada pela relevância dos elementos que a compõem. Uma relação é composta por dois elementos e sua relevância se origina da relevância desses dois elementos. Como pode ser visualizada na Figura 18, a análise de *Relevância do ciclo* circulada consiste da consideração da relevância de cada elemento que a compõe, no caso v_1 e v_2 .

Figura 18 – Análise da relevância de um ciclo

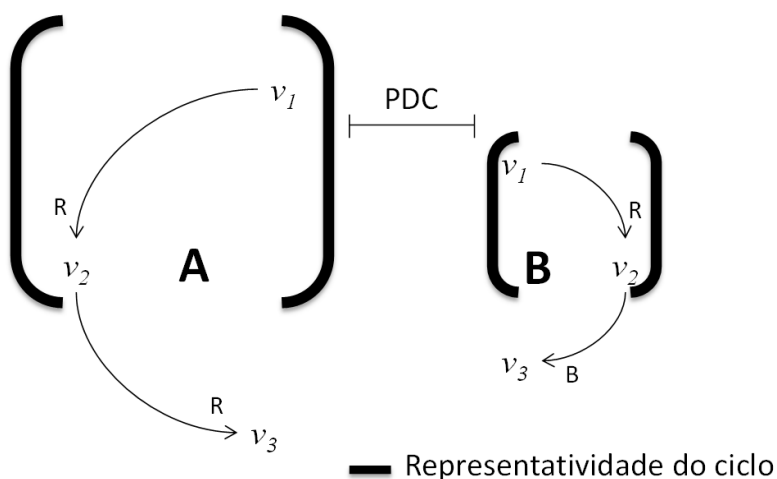


Fonte: Produção do próprio autor.

Dessa maneira, a análise é feita para todos os elementos e avança por sobre todas as relações até atingir o modelo todo.

Após a avaliação da relevância de uma relação, pode-se combinar mais uma vez a análise “intramodelo” e a comparação “intermodelo”, usando a PDC, por meio da checagem da existência de uma relação equivalente em outro modelo por meio do parâmetro *Representatividade do ciclo*, como mostra a Figura 19. Na Figura 20 estão circuladas em ambos os modelos (modelo A e modelo B) duas relações de reforço equivalentes entre os elementos v_1 e v_2 . A presença de relações equivalentes em dois modelos permite assumir que essas relações são mais representativas para descrição do problema do que aquelas que não se repetem em outro modelo. A recorrência de uma determinada estrutura descritiva evidencia uma percepção homogênea e consensual da realidade (BROWN, 2006). Nesse sentido, a estrutura em questão representa as ideias, opiniões, visões, objetivos e interesses de um número significativo de *stakeholders* (CYERT; MARCH, 1992) e a representação de um conhecimento coletivo (LÉVY, 2010).

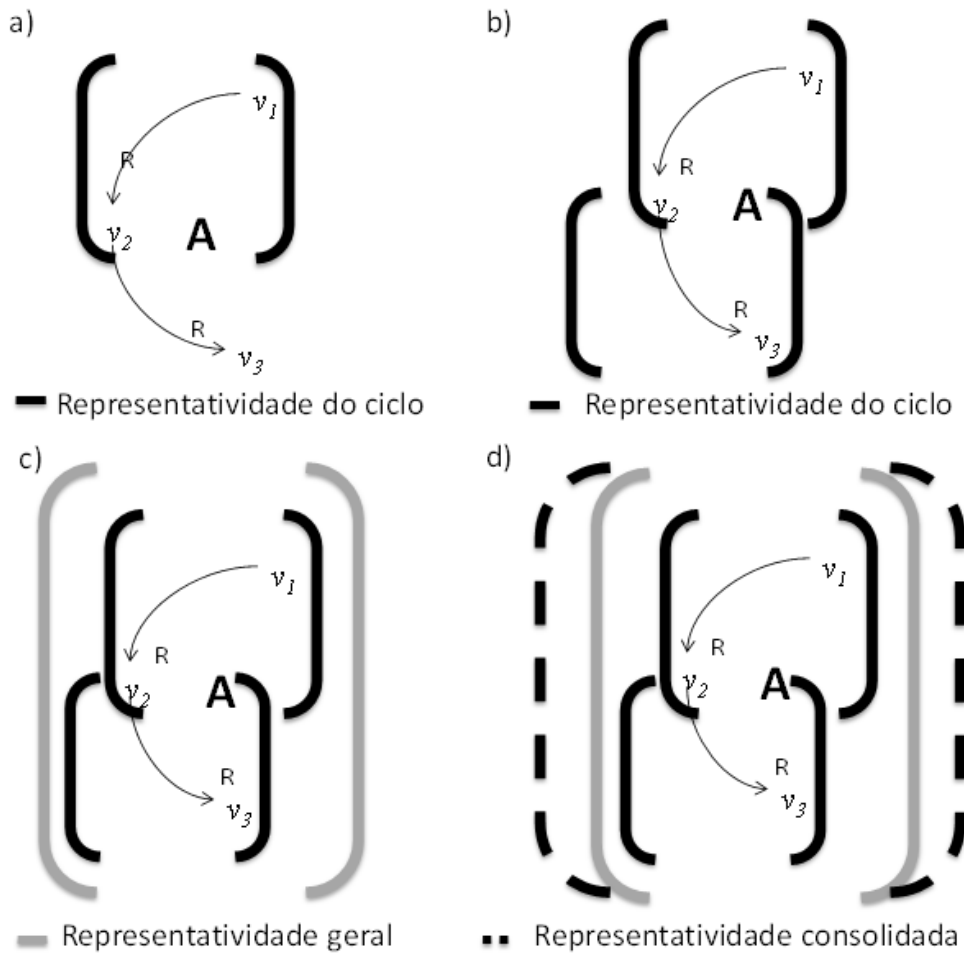
Figura 19 – Análise de representatividade da relação



Fonte: Produção do próprio autor.

A análise de representatividade deve passar por todas as relações do modelo mental (Figura 20a e Figura 20b), de modo que seja analisada a *Representatividade geral* (Figura 20c). O conjunto total de relações de um modelo mental será associado a uma *Representatividade consolidada*, isto é, a consideração de todas as representatividades gerais, como mostra a Figura 20d.

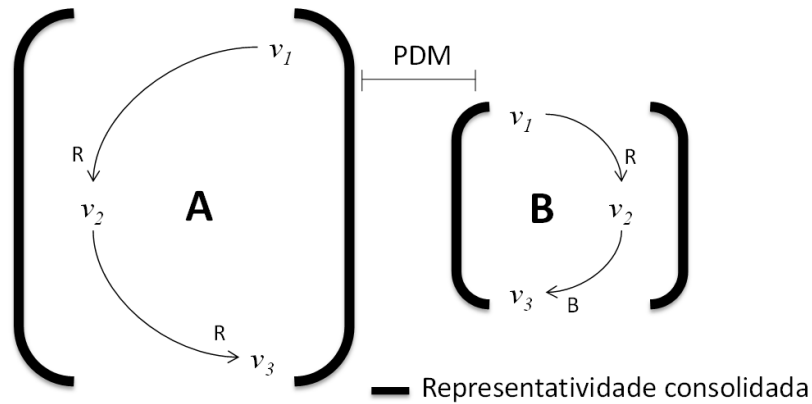
Figura 20 – a) Análise de representatividade de uma relação do modelo A b) Análise de representatividade das duas relações do modelo A c) Análise de representatividade geral d) Análise de representatividade consolidada



Fonte: Produção do próprio autor.

Por fim, a PDM também pode ser utilizada para combinar as análise “intramodelo” e comparação “intermodelo”, agora no nível do modelo todo. Essa combinação pode ser verificada a partir da consideração da proporção de distância com relação a outro modelo. Na Figura 21, a combinação é realizada por meio da consideração das representatividades consolidadas do modelo A e do modelo B comparadas por meio da PDM entre esses modelos para obtenção da *Representatividade do modelo A*.

Figura 21 – Análise de representatividade do modelo



Fonte: Produção do próprio autor.

5.1.2 Variáveis linguísticas

Cada parâmetro da análise “intramodelo” e da comparação “intermodelo” é transformado em uma variável da base de conhecimento. O Quadro 3 apresenta cada uma das variáveis, sua explicação e seu nível de análise: no elemento do modelo, em um ciclo (relações de causa-efeito) do modelo ou no modelo mental como um todo.

Quadro 3 – Variáveis linguísticas

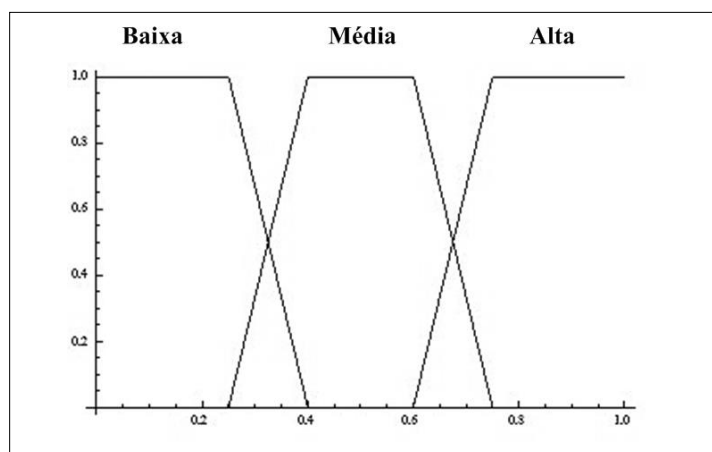
Variável Linguística	Significado da Variável	Nível de análise
Proximidade _{Agente}	Medida da capacidade do agente para atuar sobre determinado elemento	Elemento
Proximidade _{Problema}	Medida com que o elemento do modelo descreve o comportamento do problema	Elemento
Proximidade _{Geral}	Consolidação da informação expressa por <i>Proximidade</i> _{Agente} e <i>Proximidade</i> _{Problema} .	Elemento
PDE	Proporção de Distância entre Elementos	Elemento
Relevância _{Elemento}	Medida da relevância de determinado elemento para descrição do problema, considerando PDE	Elemento

Quadro 3 – Variáveis linguísticas

Variável Linguística	Significado da Variável	Nível de análise
Relevância _{Ciclo}	Medida da relevância de determinada relação para descrição do problema	Ciclo
PDC	Proporção de Distância entre Ciclos	Ciclo
Representatividade _{Ciclo}	Medida da representatividade de determinada relação para descrição do problema, considerando PDC	Ciclo
Representatividade _{Geral}	Medida da representatividade geral do modelo por meio da consideração de mais de uma relação.	Ciclo
Representatividade _{Consolidada}	Consolidação de todas as medidas de representatividade geral do modelo	Modelo
PDM	Proporção de Distância entre Modelos	Modelo
Representatividade _{Modelo}	Medida da representatividade consolidada do modelo para descrição do problema, considerando PDM	Modelo

Essas variáveis passaram por uma conversão numérico-linguística, isto é, receberam valores linguísticos representados por suas respectivas funções de pertinência. Assim, cada variável linguística da base de conhecimento é composta por um conjunto de valores $V = \{\text{Baixa, Média, Alta}\}$. A cada um desses termos linguísticos foi atribuída uma função de pertinência conforme o gráfico da Figura 22.

Figura 22 – Funções de pertinência associadas aos valores linguísticos das variáveis



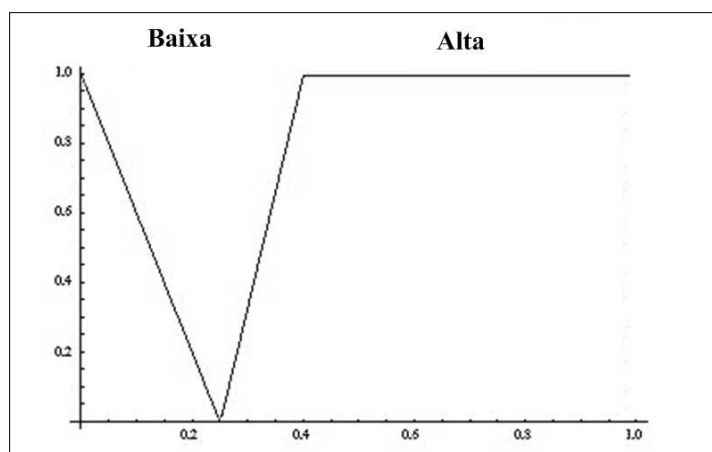
Fonte: Produção do próprio autor.

Para o parâmetro PDM foram consideradas as três possibilidades para comparação de modelos, conforme a Seção 4.1.1:

- a) Idênticos, se $PDM(m, n) = 0$;
- b) Semelhantes, se $PDM(m, n) < 0,25$;
- c) Diferentes, se $PDM(m, n) \geq 0,25$.

Em virtude dessa escala de comparação, a variável PDM, é associada apenas aos termos linguísticos “Alta” (diferentes) e “Baixa” (semelhantes). Como pode ser visualizado no gráfico da Figura 23, esses termos são denotados pelas funções de pertinência $f_{PDM^{“Alta”}}$, $f_{PDM^{“Baixa”}}$, respectivamente.

Figura 23 – Funções de pertinência associadas aos termos linguísticos da variável PDM.



Fonte: Produção do próprio autor.

Há de se ressaltar que a total pertinência em $f_{PDM^{“Baixa”}}$ indica que dois modelos mentais são idênticos. Nesse caso, a imagem da função possui o valor máximo “1”.

5.1.3 Regras nebulosas

As variáveis linguísticas — apresentadas no Quadro 3 — compõem os antecedentes e consequentes de regras do tipo “Se... então”, que permitem aos parâmetros de análise e comparação (ver Seção 5.1.1) emergirem do nível dos elementos para todo o modelo mental. Essas regras são construídas por meio da utilização de um mecanismo de inferência baseado em encadeamento para frente, no qual os antecedentes e consequentes são estabelecidos por meio da utilização do operador de conjunção (“e”) e do método de Mamdani, oriundo das operações de união e intersecção de Zadeh (ver Seção 3.3.1). A conjunção existente entre dois termos antecedentes resulta uma função de pertinência associada a um termo consequente, por meio do valor mínimo das funções de pertinência dos termos antecedentes. Se houver a ativação de mais de uma das regras, haverá uma composição entre essas regras por meio da consideração do valor máximo dessas funções.

Assim, os dois primeiros parâmetros e, suas respectivas variáveis linguísticas, $Proximidade_{Agente}$ e $Proximidade_{Problema}$ se assumem como termos antecedentes do consequente $Proximidade_{Geral}$ para compor as seguintes regras.

- 1) Se $Proximidade_{Agente}$ é Alta e $Proximidade_{Problema}$ é Alta, então $Proximidade_{Geral}$ é Alta.
- 2) Se $Proximidade_{Agente}$ é Alta e $Proximidade_{Problema}$ é Média, então $Proximidade_{Geral}$ é Alta.
- 3) Se $Proximidade_{Agente}$ é Alta e $Proximidade_{Problema}$ é Baixa, então $Proximidade_{Geral}$ é Média.
- 4) Se $Proximidade_{Agente}$ é Média e $Proximidade_{Problema}$ é Alta, então $Proximidade_{Geral}$ é Alto.
- 5) Se $Proximidade_{Agente}$ é Média e $Proximidade_{Problema}$ é Média, então $Proximidade_{Geral}$ é Média.
- 6) Se $Proximidade_{Agente}$ é Média e $Proximidade_{Problema}$ é Baixa, então $Proximidade_{Geral}$ é Baixa.
- 7) Se $Proximidade_{Agente}$ é Baixa e $Proximidade_{Problema}$ é Alta, então $Proximidade_{Geral}$ é Média.
- 8) Se $Proximidade_{Agente}$ é Baixa e $Proximidade_{Problema}$ é Média, então $Proximidade_{Geral}$ é Baixa.
- 9) Se $Proximidade_{Agente}$ é Baixa e $Proximidade_{Problema}$ é Baixa, então $Proximidade_{Geral}$ é Baixa.

A associação entre as variáveis e valores linguísticos dessas regras é apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 – Valores linguísticos do consequente $Proximidade_{Geral}$

$Proximidade_{Agente}/Proximidade_{Problema}$	Alta	Média	Baixa
Alta	Alta	Alta	Média
Média	Alta	Média	Baixa
Baixa	Média	Baixa	Baixa

Na sequência, $Proximidade_{Geral}$ se une a PDE e passa a compor o termo antecedente do consequente $Relevância_{Elemento}$ das regras apresentadas a seguir. Se determinado elemento de um modelo possuir uma PDE “Alta”, quer dizer que ele já foi utilizado em outro modelo. Nesse caso, faz sentido dizer que a utilização desse elemento no modelo é adequada e, portanto, sua relevância também é “Alta”.

- 10) Se $Proximidade_{Geral}$ é Alta e PDE é Alta, então $Relevância_{Elemento}$ é Média.
- 11) Se $Proximidade_{Geral}$ é Alta e PDE é Média, então $Relevância_{Elemento}$ é Alta.
- 12) Se $Proximidade_{Geral}$ é Alta e PDE é Baixa, então $Relevância_{Elemento}$ é Alta.
- 13) Se $Proximidade_{Geral}$ é Média e PDE é Alta, então $Relevância_{Elemento}$ é Baixa.
- 14) Se $Proximidade_{Geral}$ é Média e PDE é Média, então $Relevância_{Elemento}$ é Média.
- 15) Se $Proximidade_{Geral}$ é Média e PDE é Baixa, então $Relevância_{Elemento}$ é Alta.
- 16) Se $Proximidade_{Geral}$ é Baixa e PDE é Alta, então $Relevância_{Elemento}$ é Baixa.
- 17) Se $Proximidade_{Geral}$ é Baixa e PDE é Média, então $Relevância_{Elemento}$ é Baixa.
- 18) Se $Proximidade_{Geral}$ é Baixa e PDE é Baixa, então $Relevância_{Elemento}$ é Média.

A associação entre as variáveis e valores linguísticos dessas regras é apresentada no Quadro 5.

Quadro 5 – Valores linguísticos do consequente $Proximidade_{Geral}$

$Proximidade_{Geral}/PDE$	Alta	Média	Baixa
Alta	Média	Alta	Alta
Média	Baixa	Média	Alta
Baixa	Baixa	Baixa	Média

Um modelo mental, no entanto, não é composto apenas por elementos, sendo necessário estender a análise para as relações existentes entre esses elementos. Considerando que um ciclo é composto basicamente por dois elementos, a variável $Relevância_{Ciclo}$ é obtida a partir da medida da relevância de cada um dos elementos envolvidos na relação, como pode ser verificado nas regras elencadas a seguir, cujos antecedentes e consequentes são apresentadas no Quadro 6.

- 19) Se $Relevância_{Elemento1}$ é Alta e $Relevância_{Elemento2}$ é Alta, então $Relevância_{Ciclo}$ é Alta.
- 20) Se $Relevância_{Elemento1}$ é Alta e $Relevância_{Elemento2}$ é Média, então $Relevância_{Ciclo}$ é Alta.
- 21) Se $Relevância_{Elemento1}$ é Alta e $Relevância_{Elemento2}$ é Baixa, então $Relevância_{Ciclo}$ é Média.
- 22) Se $Relevância_{Elemento1}$ é Média e $Relevância_{Elemento2}$ é Alta, então $Relevância_{Ciclo}$ é Alta.
- 23) Se $Relevância_{Elemento1}$ é Média e $Relevância_{Elemento2}$ é Média, então $Relevância_{Ciclo}$ é Média.
- 24) Se $Relevância_{Elemento1}$ é Média e $Relevância_{Elemento2}$ é Baixa, então $Relevância_{Ciclo}$ é Baixa.
- 25) Se $Relevância_{Elemento1}$ é Baixa e $Relevância_{Elemento2}$ é Alta, então $Relevância_{Ciclo}$ é Média.
- 26) Se $Relevância_{Elemento1}$ é Baixa e $Relevância_{Elemento2}$ é Média, então $Relevância_{Ciclo}$ é Baixa.
- 27) Se $Relevância_{Elemento1}$ é Baixa e $Relevância_{Elemento2}$ é Baixa, então $Relevância_{Ciclo}$ é Baixa.

Quadro 6 – Valores linguísticos do consequente $Relevância_{Ciclo}$

$Relevância_{Elemento}$	Alta	Média	Baixa
Alta	Alta	Alta	Média
Média	Alta	Média	Baixa
Baixa	Média	Baixa	Baixa

Mais uma vez, faz-se necessário observar o método para comparação entre modelos mentais, agora por meio de regras que consideram a PDC. As regras a seguir interpretam que determinado ciclo que possui uma PDC “Alta” já foi utilizado em outro modelo e, por isso, assume que sua representatividade também é “Alta”.

- 28) Se $Relevância_{Ciclo}$ é Alta e PDC é Alta, então $Representatividade_{Ciclo}$ é Média.
- 29) Se $Relevância_{Ciclo}$ é Alta e PDC é Média, então $Representatividade_{Ciclo}$ é Alta.
- 30) Se $Relevância_{Ciclo}$ é Alta e PDC é Baixa, então $Representatividade_{Ciclo}$ é Alta.
- 31) Se $Relevância_{Ciclo}$ é Média e PDC é Alta, então $Representatividade_{Ciclo}$ é Baixa.
- 32) Se $Relevância_{Ciclo}$ é Média e PDC é Média, então $Representatividade_{Ciclo}$ é Média.
- 33) Se $Relevância_{Ciclo}$ é Média e PDC é Baixa, então $Representatividade_{Ciclo}$ é Alta.
- 34) Se $Relevância_{Ciclo}$ é Baixa e PDC é Alta, então $Representatividade_{Ciclo}$ é Baixa.
- 35) Se $Relevância_{Ciclo}$ é Baixa e PDC é Média, então $Representatividade_{Ciclo}$ é Baixa.
- 36) Se $Relevância_{Ciclo}$ é Baixa e PDC é Baixa, então $Representatividade_{Ciclo}$ é Média.

A atribuição dos valores linguísticos às variáveis dessas regras é apresentada no Quadro 7.

Quadro 7 – Valores linguísticos do consequente $Representatividade_{Ciclo}$

Relevância_{Ciclo}/PDC	Alta	Média	Baixa
Alta	Média	Alta	Alta
Média	Baixa	Média	Alta
Baixa	Baixa	Baixa	Média

Embora, um modelo mental possa consistir de apenas um ciclo, geralmente, ele é composto pela associação de diversos deles. Nesses casos, faz-se necessário assumir regras que consideram a variável $Representatividade_{Geral}$. Isso permite que a análise se estenda integralmente por todo o modelo. Para tal, os ciclos do modelo mental são agrupadas par a par, como pode ser observado nas regras elencadas a seguir.

O Quadro 8 apresenta todos os valores linguísticos associados às variáveis $Representatividade_{Ciclo}$, que são antecedentes do consequente $Representatividade_{Geral}$.

- 37) Se $Representatividade_{Ciclo1}$ é Alta e $Representatividade_{Ciclo2}$ é Alta, então $Representatividade_{Geral}$ é Alta.
- 38) Se $Representatividade_{Ciclo1}$ é Alta e $Representatividade_{Ciclo2}$ é Média, então $Representatividade_{Geral}$ é Alta.
- 39) Se $Representatividade_{Ciclo1}$ é Alta e $Representatividade_{Ciclo2}$ é Baixa, então $Representatividade_{Geral}$ é Média.
- 40) Se $Representatividade_{Ciclo1}$ é Média e $Representatividade_{Ciclo2}$ é Alta, então $Representatividade_{Geral}$ é Alta.
- 41) Se $Representatividade_{Ciclo1}$ é Média e $Representatividade_{Ciclo2}$ é Média, então $Representatividade_{Geral}$ é Média.
- 42) Se $Representatividade_{Ciclo1}$ é Média e $Representatividade_{Ciclo2}$ é Baixa, então $Representatividade_{Geral}$ é Baixa.
- 43) Se $Representatividade_{Ciclo1}$ é Baixa e $Representatividade_{Ciclo2}$ é Alta, então $Representatividade_{Geral}$ é Média.
- 44) Se $Representatividade_{Ciclo1}$ é Baixa e $Representatividade_{Ciclo2}$ é Média, então $Representatividade_{Geral}$ é Baixa.
- 45) Se $Representatividade_{Ciclo1}$ é Baixa e $Representatividade_{Ciclo2}$ é Baixa, então $Representatividade_{Geral}$ é Baixa.

Quadro 8 – Valores linguísticos do consequente $Representatividade_{Geral}$

$Representatividade_{Ciclo}$	Alta	Média	Baixa
Alta	Alta	Alta	Média
Média	Alta	Média	Baixa
Baixa	Média	Baixa	Baixa

No geral, os modelos são compostos por mais de dois ciclos, por isso, devem existir regras para consolidação da análise dos diversos ciclos. A consolidação das variáveis $Representatividade_{Geral}$ também é feita par a par. Essas regras são listadas a seguir e os valores linguísticos associados à variável $Representatividade_{Consolidada}$ são apresentados no Quadro 9.

- 46) Se $Representatividade_{Geral1}$ é Alta e $Representatividade_{Geral2}$ é Alta, então $Representatividade_{Consolidada}$ é Alta.
- 47) Se $Representatividade_{Geral1}$ é Alta e $Representatividade_{Geral2}$ é Média, então $Representatividade_{Consolidada}$ é Média.
- 48) Se $Representatividade_{Geral1}$ é Alta e $Representatividade_{Geral2}$ é Baixa, então $Representatividade_{Consolidada}$ é Média.
- 49) Se $Representatividade_{Geral1}$ é Média e $Representatividade_{Geral2}$ é Alta, então $Representatividade_{Consolidada}$ é Média.
- 50) Se $Representatividade_{Geral1}$ é Média e $Representatividade_{Geral2}$ é Média, então $Representatividade_{Consolidada}$ é Média.
- 51) Se $Representatividade_{Geral1}$ é Média e $Representatividade_{Geral2}$ é Baixa, então $Representatividade_{Consolidada}$ é Baixa.
- 52) Se $Representatividade_{Geral1}$ é Baixa e $Representatividade_{Geral2}$ é Alta, então $Representatividade_{Consolidada}$ é Média.
- 53) Se $Representatividade_{Geral1}$ é Baixa e $Representatividade_{Geral2}$ é Média, então $Representatividade_{Consolidada}$ é Baixa.
- 54) Se $Representatividade_{Geral1}$ é Baixa e $Representatividade_{Geral2}$ é Baixa, então $Representatividade_{Consolidada}$ é Baixa.

Quadro 9 – Valores linguísticos do consequente *Representatividade_{Geral}*

Representatividade_{Geral}	Alta	Média	Baixa
Alta	Alta	Média	Média
Média	Média	Média	Baixa
Baixa	Média	Baixa	Baixa

Conforme a Seção 5.1.1, comparar apenas elementos e suas relações não é suficiente. Observar os modelos de maneira integral torna a análise mais completa, por isso é razoável considerar a PDM. Sendo assim, a seguir são listadas regras que assumem as possíveis situações (ver Seção 5.1.2) que podem ser associadas a variável *Representatividade_{Modelo}*.

- 55) Se *Representatividade_{Consolidada}* é Alta e PDM é Alta, então *Representatividade_{Modelo}* é Média.
56) Se *Representatividade_{Consolidada}* é Alta e PDM é Baixa, então *Representatividade_{Modelo}* é Alta.
57) Se *Representatividade_{Consolidada}* é Média e PDM é Alta, então *Representatividade_{Modelo}* é Baixa.
58) Se *Representatividade_{Consolidada}* é Média e PDM é Baixa, então *Representatividade_{Modelo}* é Alta.
59) Se *Representatividade_{Consolidada}* é Baixa e PDM é Alta, então *Representatividade_{Modelo}* é Baixa.
60) Se *Representatividade_{Consolidada}* é Baixa e PDM é Baixa, então *Representatividade_{Modelo}* é Média.

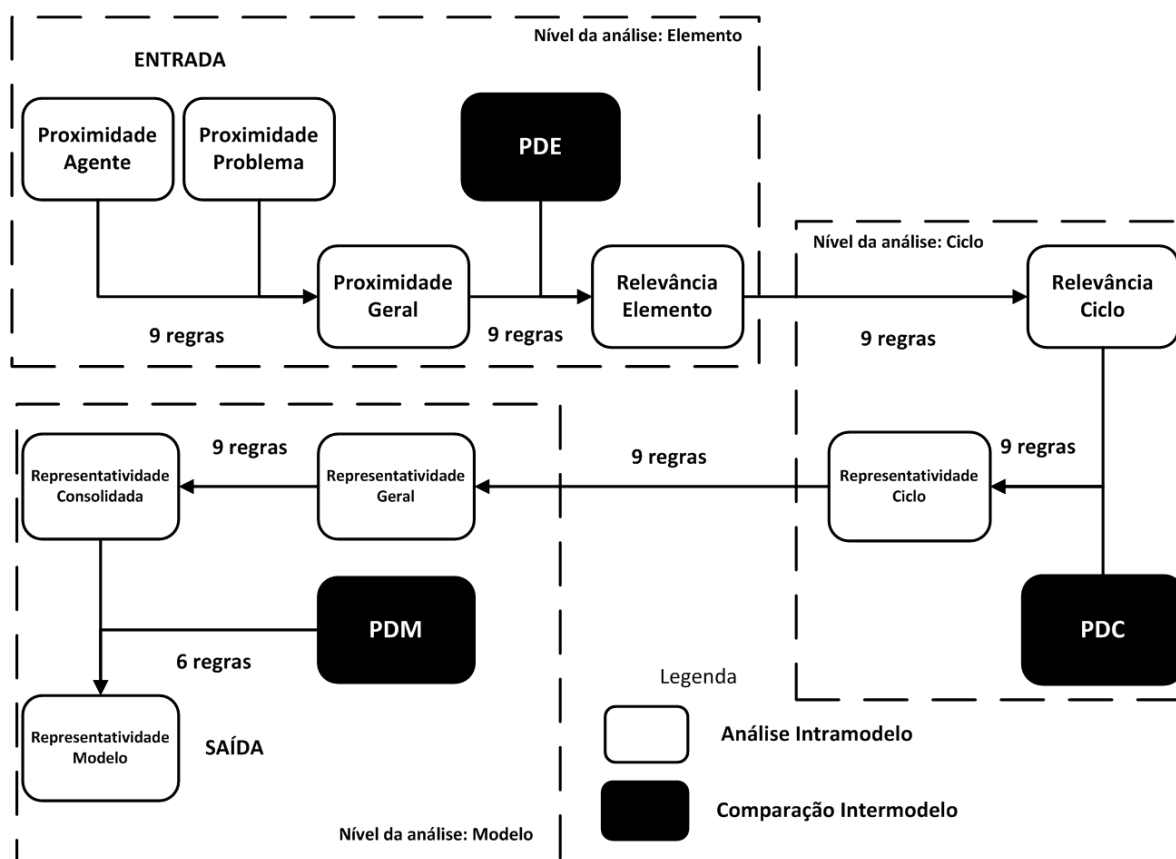
A atribuição dos valores linguísticos às variáveis dessas regras é apresentada no Quadro 10.

Quadro 10 – Valores linguísticos do consequente *Representatividade_{Modelo}*

Representatividade_{Consolidada}/PDM	Alta	Baixa
Alta	Média	Alta
Média	Baixa	Alta
Baixa	Baixa	Média

A base de conhecimento, portanto, consiste de sessenta regras agrupadas para obtenção das sete variáveis consequentes (seis grupos de nove regras cada, e um grupo de seis regras), como pode ser visualizado na Figura 24. Essas regras são encadeadas de modo que, a partir das variáveis de entrada, os termos consequentes de um grupo se assumem como termos antecedentes do grupo consecutivo e, assim por diante, até que seja alcançada a variável de saída.

Figura 24 – Variáveis linguísticas e encadeamento das regras



Fonte: Produção do próprio autor.

Por fim, obtém-se um valor $G(C)$ por meio de uma conversão linguístico-numérica fundamentada no cálculo do centro de gravidade (ver Seção 3.4) do Conjunto Nebuloso associado aos termos linguísticos correspondentes à variável de saída. Essa conversão linguístico-numérica traduz quantitativamente o conhecimento qualitativo presente na base de regras. O valor indica a adequação do modelo para descrição de determinado fenômeno.

A partir da base de regras, do encadeamento de suas variáveis e de seus respectivos termos linguísticos, é possível propor um algoritmo que sumarie o método de análise e comparação de MMs proposto por esta dissertação. O algoritmo é apresentado a seguir.

Algoritmo²⁶ – Executa a análise da relevância de um par de modelos mentais.

Entrada: dois modelos mentais a serem comparados (A e B , por exemplo); base de conhecimento com as 60 regras de inferência, cujos valores linguísticos das variáveis estão resumidos nos Quadros 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10.

Saída: valores correspondentes ao grau de representatividade de cada um dos modelos.

1. Calcula as distâncias PDE, PDC e PDM entre os modelos A e B , usando as Equações 4.7, 4.8 e 4.9, respectivamente;
2. Para cada elemento do modelo mental A , faça:
 - 2.1. Avalia a $Proximidade_{Geral}$ considerando a $Proximidade_{Agente}$ e a $Proximidade_{Problema}$, de acordo com o Quadro 4;
 - 2.2. Avalia a $Relevância_{Elemento}$ considerando a $Proximidade_{Geral}$ e o PDE, de acordo com o Quadro 5;
3. Para cada relação entre dois elementos do modelo mental A , faça:
 - 3.1. Avalia a $Relevância_{Ciclo}$ considerando a $Relevância_{Elemento1}$ e a $Relevância_{Elemento2}$, de acordo com o Quadro 6;
 - 3.2. Avalia a $Representatividade_{Ciclo}$ considerando a $Relevância_{Ciclo}$ e o PDC, de acordo com o Quadro 7;

²⁶ Recomenda-se o acesso ao material didático complementar disponível em <http://prezi.com/jwc4ntz6bz9e/analise-de-modelos-mentais-baseada-em-regras-nebulosas-para-tomada-de-decisao-colaborativa> como um recurso alternativo para obtenção de uma compreensão profunda do funcionamento deste algoritmo.

4. Para cada par de ciclos do modelo mental *A*, faça:
 - 4.1. Avalia a *Representatividade_{Geral}* considerando a *Representatividade_{Ciclo1}* e a *Representatividade_{Ciclo2}*, de acordo com o Quadro 8;
5. Para todos os pares de ciclos do modelo mental *A*, faça:
 - 5.1. Avalia a *Representatividade_{Consolidada}* considerando a *Representatividade_{Geral1}* e a *Representatividade_{Geral2}*, de acordo com o Quadro 9;
6. Avalia a *Representatividade_{Modelo}* considerando a *Representatividade_{Consolidada}* e o PDM, de acordo com o Quadro 10;
7. Aplica-se o $G(C)$ na *Representatividade_{Modelo}*, usando a Equação 3.22;
Repetem-se os passos de 2 a 7 considerando o modelo mental *B*.

Deve-se observar que esse algoritmo deve ser executado para todos os possíveis pares de modelos mentais relacionados a um dado problema. Por isso, $G(C)$ varia em função dos modelos mentais que são comparados, já que depende dos valores de PDE, PDC e PDM, que também podem variar. Logo, quando mais de dois modelos são submetidos à base de conhecimento deve ser calculado um valor médio do modelo mental que é dado pela razão entre o somatório dos valores de $G(C)$ e o número de comparações n , como expressa a Fórmula 5.1.

$$Valor\ Médio\ do\ MM = \frac{\sum G(C)}{n} \quad (5.1)$$

Um modelo com o valor médio elevado representa uma descrição adequada de determinado fenômeno que provavelmente já foi utilizada por outros modelos. Isso quer dizer que esse modelo tem grande chances de representar o conhecimento compartilhado por uma comunidade e o consenso entre um número significativo de *stakeholders*.

5.2 Sistema Inteligente de Apoio à Decisão

O método de análise e comparação de modelos mentais pode ser automatizado de modo que a base de conhecimento, seus parâmetros, variáveis e regras nebulosas componham um sistema inteligente de apoio à decisão (SIAD). Essa ferramenta permite o cadastramento de diversos modelos mentais e, a partir de sua análise e comparação, apresenta uma lista decrescente da representatividade associada a cada modelo. Nesse sentido, esse SIAD é um sistema colaborativo (*groupware*), já que permite a interação entre diversos agentes de decisão.

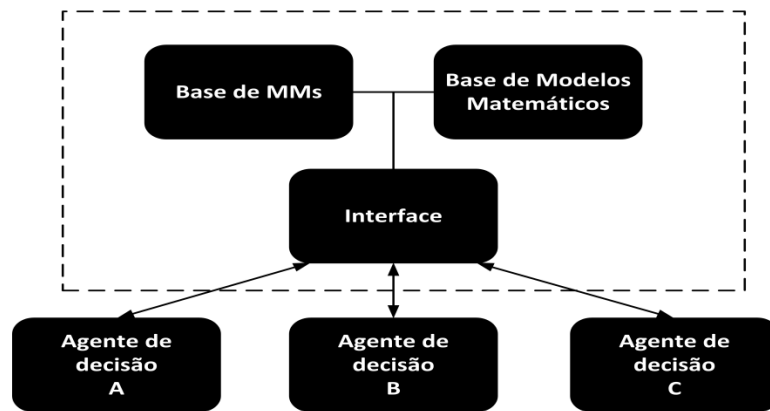
5.2.1 Arquitetura do sistema

O SIAD proposto por este trabalho é composto por uma base de MMs, uma base de modelos matemáticos e uma interface, como pode ser visto na Figura 25 que apresenta a arquitetura do sistema. A base de MMs consiste de todos os modelos, seus elementos e respectivas relações (ciclos), enquanto a base de modelos matemáticos contém a base de regras nebulosas, o método de inferência de Mamdani, o método do centro de gravidade e o método das distâncias para comparação dos modelos.

A arquitetura apresentada na Figura 25 é acomodada em quatro módulos principais: módulo de cadastramento, módulo de comparação, módulo de análise e módulo de apresentação de resultados. Esses módulos foram implementados em linguagem de programação *Python* em parceria com o Projeto de Iniciação Científica “Desenvolvimento de ferramenta para comparação de modelos mentais” (MESSIAS, 2013) que é mantido pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic) do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq).

Também foram utilizados um Sistema de Gerenciamento de Base de Dados (neste caso o *PostGreSQL*) e linguagem de consulta estruturada (*Structured Query Language* – SQL) na manipulação das bases de dados.

Figura 25 – Arquitetura do sistema inteligente de apoio à decisão

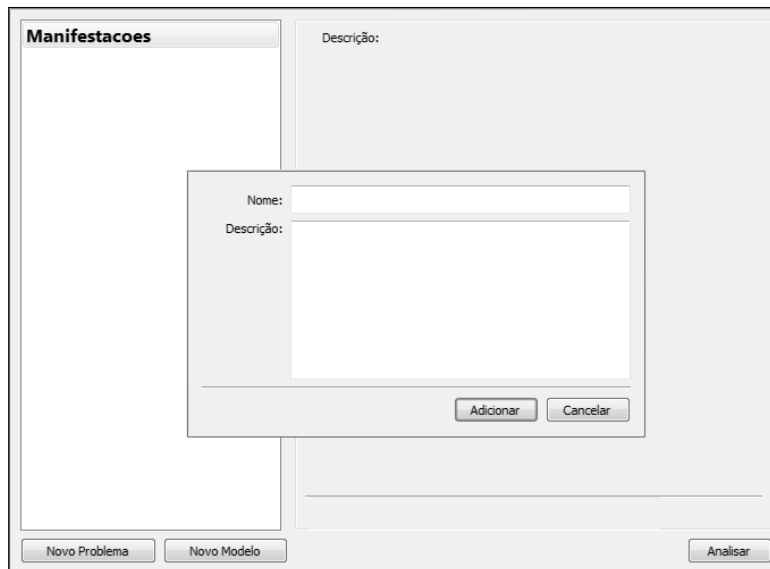


Fonte: Produção do próprio autor.

A seguir serão descritos os quatro módulos principais do sistema inteligente de apoio à decisão utilizado para automatizar o método de análise e comparação de modelos mentais.

- **Módulo de cadastramento:** este módulo permite a inclusão de temas (domínio do problema) associados à decisão que precisa ser apoiada, como pode ser visualizado na Figura 26. A partir do tema, é possível cadastrar os MMs (seus respectivos elementos e relações) de diversos usuários. Cada agente de decisão informa as características e particularidades dos elementos e relações existentes em seus modelos. Para isso, cada elemento cadastrado exige informações associadas aos parâmetros de entrada ($\text{Proximidade}_{\text{Agente}}$ e $\text{Proximidade}_{\text{Problema}}$). O cadastramento das relações entre os elementos requer a informação associada à polaridade dos ciclos (reforço ou balanceamento). A interface de cadastramento dos elementos e relações pode ser visualizada na Figura 27.
- **Módulo de comparação:** neste módulo, os MMs associados ao mesmo tema (domínio de problema) serão comparados entre si, por meio do método de comparação de modelos mentais e seus três parâmetros (PDE, PDC e PDM). Logo, as comparações resultam taxas que são enviadas ao módulo de análise.

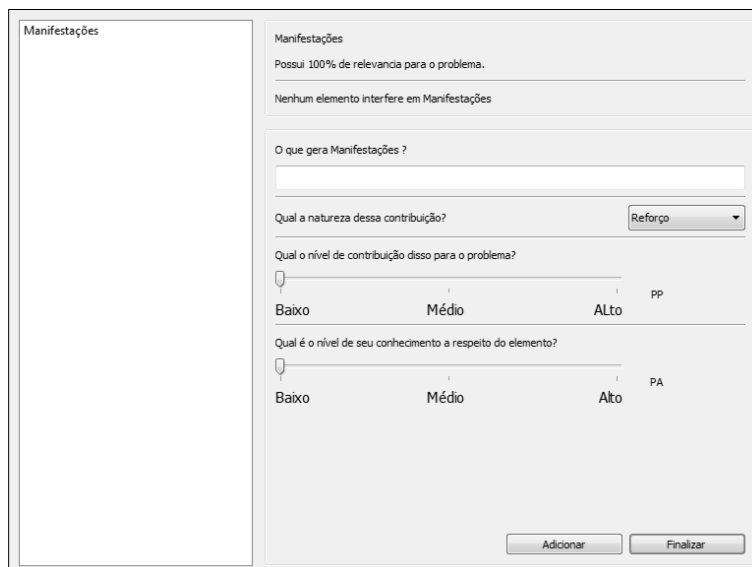
Figura 26 – Interface para cadastramento de domínio do problema



The interface consists of a main window and a modal dialog box. The main window has a title bar and a header area with the text "Manifestacoes". Below the header is a large empty rectangular area. To the right of this area is a section labeled "Descrição:". At the bottom of the main window are three buttons: "Novo Problema", "Novo Modelo", and "Analisar". The modal dialog box is centered over the main window. It has a title bar and contains two input fields: "Nome:" and "Descrição:". Below these fields are two buttons: "Adicionar" and "Cancelar".

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 27 – Interface para cadastramento de elementos e relações



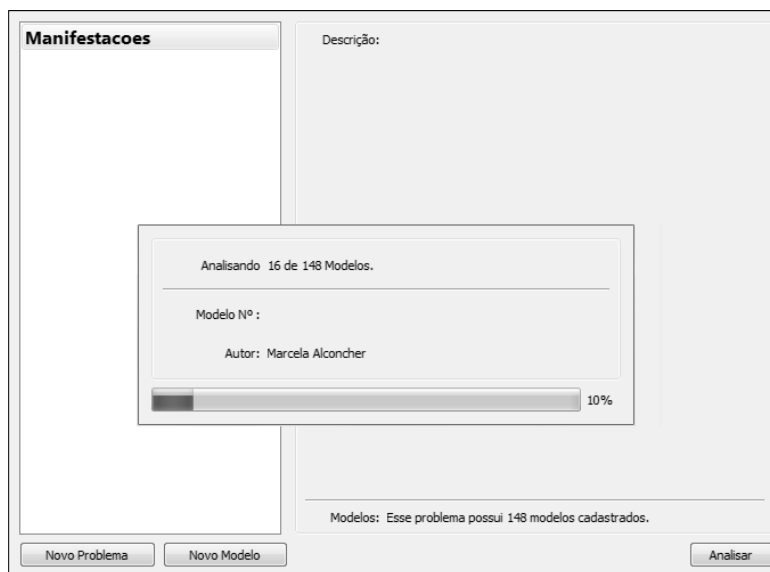
The interface consists of a main window and a modal dialog box. The main window has a title bar and a header area with the text "Manifestações". Below the header is a large empty rectangular area. To the right of this area is a section labeled "Manifestações". Below this section are two lines of text: "Possui 100% de relevancia para o problema." and "Nenhum elemento interfere em Manifestações". Below these lines is a section labeled "O que gera Manifestações ?" with a text input field. Below the input field is a section labeled "Qual a natureza dessa contribuição?" with a dropdown menu showing "Reforço". Below the dropdown menu is a section labeled "Qual o nível de contribuição disso para o problema?" with a slider control. The slider has three positions: "Baixo", "Médio", and "Alto". To the right of the slider is a label "PP". Below the slider is a section labeled "Qual é o nível de seu conhecimento a respeito do elemento?" with a slider control. The slider has three positions: "Baixo", "Médio", and "Alto". To the right of the slider is a label "PA". At the bottom of the main window are two buttons: "Adicionar" and "Finalizar".

Fonte: Produção do próprio autor.

- **Módulo de análise:** este módulo submete os MMs base de regras nebulosas a partir dos resultados do módulo de comparação. As regras permitem a análise individual da estrutura interna de cada modelo mental por meio de sete parâmetros ($Proximidade_{Geral}$, $Relevância_{Elemento}$, $Relevância_{Ciclo}$, $Representatividade_{Ciclo}$, $Representatividade_{Geral}$, $Representatividade_{Consolidada}$ e $Representatividade_{Modelo}$). Os cálculos associados à aplicação das regras são feitos considerando o método de Mamdani e o método do centro de gravidade. Por fim, cada modelo é associado a um valor numérico que diz respeito a sua capacidade de representar determinado fenômeno (domínio do problema).

A Figura 28 apresenta a interface de análise e comparação do sistema inteligente de apoio à decisão.

Figura 28 – Interface de análise e comparação dos modelos mentais



Fonte: Produção do próprio autor.

- **Módulo de apresentação de resultados:** neste módulo é apresentada uma lista decrescente, conforme o valor numérico associado à representatividade (valor médio) de cada MM. A Figura 29 ilustra a interface de apresentação dos resultados.

Figura 29 – Interface de apresentação de resultados

Tab 1		Tab 2		
1	2			
81	0.269387755102		Autor: Laura Yanagubashi, RA: 138678	
1	0.267346938776		Modelo : 149	
43	0.251020408163		Lista de Elementos	
125	0.251020408163		0 -> Qualidade	
119	0.248979591837		1 -> partidos	
26	0.24693877551		2 -> saude	
30	0.244897959184		3 -> educacao	
145	0.244897959184		4 -> desigualdade	
25	0.242857142857		5 -> corrupcao	
66	0.242857142857		6 -> transporte	
128	0.238775510204		7 -> Manifestacoes	
113	0.236734693878		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
149	0.234693877551		1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
36	0.234693877551		1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
5	0.234693877551		1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
73	0.234693877551		-1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
130	0.234693877551		1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
131	0.234693877551		1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
90	0.234693877551		0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0	
102	0.232652061224		-1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
			0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0	

Fonte: Produção do próprio autor.

Esses quatro módulos apresentados serão utilizados para aplicação do método proposto por esta dissertação para análise e comparação de modelos mentais em um estudo de caso que será apresentado no Capítulo 6.

6 Estudo de caso

Este capítulo se dedica à apresentação do contexto, dos procedimentos e dos resultados do estudo de caso, utilizado para a aplicação, verificação e validação do método de análise e comparação de modelos mentais proposto por este trabalho.

6.1 Contexto

Durante os meses de junho e julho de 2013, o Brasil esteve no foco da atenção mundial, que presenciou acontecimentos inéditos desde a consolidação democrática brasileira ocorrida a partir da primeira metade da década de 1990 (THE ECONOMIST, 2013). A eclosão de uma série de manifestações levou mais de um milhão de brasileiros às ruas de 156 cidades (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2013; PHILLIPS, 2013) naquilo que ficou conhecido como “Primavera Brasileira”²⁷. Os protestos — organizados, inicialmente, pelo Movimento Passe Livre (MPL)²⁸ — foram, a princípio, motivados pela reação ao aumento nas tarifas do transporte metropolitano e pela defesa do subsídio estatal integral para o acesso dos cidadãos ao transporte público (ARIASa, 2013, SAAD-FILHO, 2013).

A adesão popular, no entanto, cresceu a partir da comoção nacional gerada quando da dura repressão imposta pela Polícia Militar aos manifestantes em uma das passeatas, ocorrida na cidade de São Paulo (FOLHA DE SÃO PAULOa, 2013). Uniu-se à oposição da repressão policial, o uso massivo de tecnologias da informação e comunicação (TICs) e redes sociais, que serviram para o estabelecimento de um apoio popular aos protestos (SAAD-FILHO, 2013), que chegou a uma taxa de aprovação de, aproximadamente, 82% dos paulistanos (FOLHA DE SÃO PAULOb, 2013).

²⁷ A expressão “Primavera Brasileira” foi utilizada em referência à “Primavera Árabe”, uma sequência de revoltas que ocorreram no Oriente Médio e culminaram com a queda de uma série de ditadores: Ben Ali, na Tunísia; Hosni Mubarak, no Egito e Muamar Kadafi na Líbia.

²⁸ Movimento Passe Livre (MPL) é uma organização autônoma, não-partidária, vinculada à ideologias socialistas. O MPL foi fundado em 2000 com o objetivo de reivindicar a estatização do transporte público (SAAD-FILHO, 2013).

O crescimento do número de manifestantes e o aumento da intensidade e da frequência das manifestações (MANSO; BURGARELLI, 2013) acabaram por contribuir com a diversidade qualitativa do público participante e, por conseguinte, do seu ideal, de sua posição política e de suas reivindicações (RAMÓN, 2013). Segundo Saad-Filho (2013), a pauta dos protestos, antes vinculada à questão do transporte público, foi estendida a uma variedade de temas acerca da qualidade dos serviços públicos, das liberdades individuais e da legitimidade dos governos, poderes e legislação, e, principalmente, da representatividade partidária. Essa variedade gerou incerteza nos governantes e na imprensa nacional e internacional no que diz respeito ao caráter das reivindicações (CAVERSAN, 2013; COSTA, 2013; SIBAJA; BARCHFIELD; BROOKS, 2013).

A incerteza levou, inclusive, o jornal americano *The New York Times* (ROMERO, 2013) e o francês *Le Monde* (HABEL, 2013) a questionarem o que, afinal, queriam os manifestantes. A *British Broadcasting Corporation* (BBC) se propôs a analisar a situação (IDOETA, 2013), enquanto o periódico espanhol *El País* chegou a sugerir que o Brasil sofria de “certa esquizofrenia” pela grande divergência de opiniões, demandas e reivindicações (ARIASb, 2013). Assim, também é possível intuir que a diversidade das causas permitiu uma multiplicidade de interpretações acerca dos protestos e seus motivos.

Observa-se, então, uma tentativa de investigação dos reais motivos das manifestações e um elevado interesse por métodos capazes de identificá-los. O estudo de caso apresentado neste trabalho tem por objetivo principal a aplicação do método para análise e comparação de modelos mentais como alternativa para representação e identificação do conhecimento comum aos manifestantes.

6.2 Procedimentos

O primeiro procedimento para aplicação do método de comparação e análise de modelos mentais diz respeito à seleção do perfil do *stakeholder* (neste caso, manifestante) do qual o conhecimento será elicitado. Em pesquisa realizada pela Folha de São Paulo (2013), o maior índice de aprovação às manifestações (82%) se dá entre jovens de 16 a 24 anos e cresce conforme o aumento da renda e da escolaridade. Nesse sentido, Coelho (2013) aponta o jovem universitário

como estereótipo característico do principal perfil daqueles que se lançaram às ruas em passeatas e que inflaram as redes sociais com mensagens de protesto. Assim este estudo de caso visa o escrutínio das motivações dos jovens universitários quando dos protestos de junho e julho de 2013, dos quais foram os grandes protagonistas.

Para tal, foram extraídos os modelos mentais de 148 universitários, cuja faixa etária é apresentada na Tabela 1. Esses universitários são oriundos de cursos de graduação em Ciência dos Esportes, Engenharia de Manufatura, Engenharia de Produção, Gestão do Agronegócio, Gestão de Comércio Internacional, Gestão de Empresas, Gestão de Políticas Públicas e Nutrição, como mostra a Tabela 2. Esses cursos são oferecidos pela Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas.

A elicitação dos MMs se deu a partir de formulário do Apêndice A, no qual os universitários puderam expressar seus modelos mentais graficamente.

Tabela 1 – Diversidade etária da amostra

Idade (anos)	Quantidade
18 a 19	21
20 a 21	100
22 a 23	20
24 a 25	2
Mais de 25	5
Total	148

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 2 – Diversidade acadêmica da amostra

Nome do Curso	Quantidade
Ciência dos Esportes	20
Engenharia de Manufatura	21
Engenharia de Produção	16
Gestão do Agronegócio	9
Gestão de Comércio Internacional	16
Gestão de Empresas	25
Gestão de Políticas Públicas	17
Nutrição	24
Total	148

Fonte: Produção do próprio autor

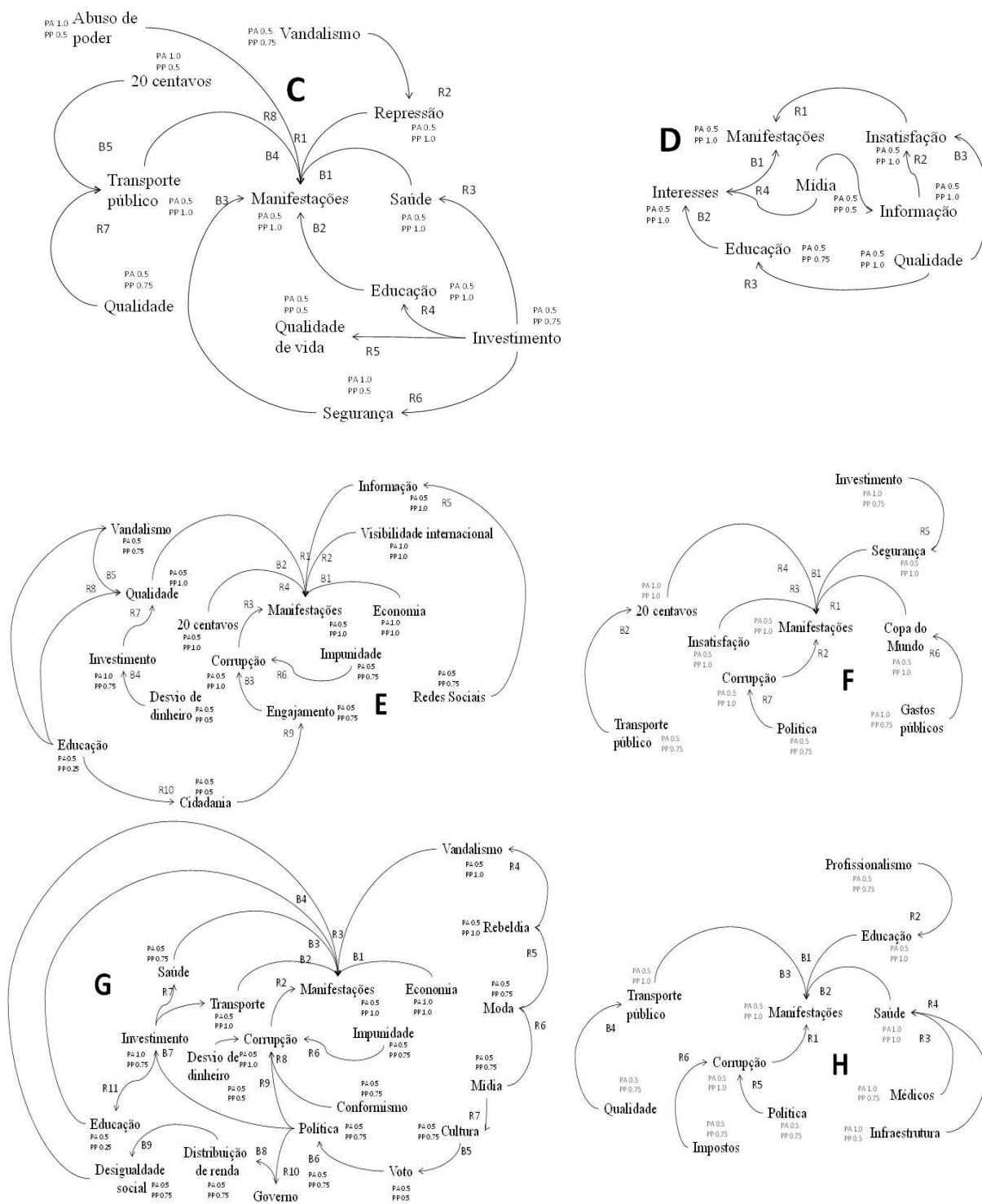
A diversidade acadêmica da amostra interessa a este trabalho no sentido em que provê diferentes visões a respeito do fenômeno investigado. Deve-se observar também que essa amostra heterogênea permite uma análise multiespecialista do problema. A utilização de determinados elementos está, portanto, associada à especialidade da qual se origina o modelo mental. Assim, é razoável que MMs dos cursos de Ciência dos Esportes e Nutrição indiquem como causas das manifestações elementos relacionados à saúde, ao bem-estar, aos esportes e eventos esportivos (problemas na Saúde Pública, gastos com a Copa do Mundo, etc). Já os modelos oriundos dos cursos de Gestão de Agronegócio, Gestão de Comércio Internacional e Gestão de Empresas devem concentrar sua descrição em temas associados à Administração, Economia e Governança (impostos, investimentos, gastos públicos, etc). Os MMs oriundos dos cursos de Engenharia de Manufatura e Engenharia de Produção descrevem o fenômeno investigado como resultado de problemas associados à qualidade, infraestrutura e informação.

Se assumirmos as manifestações — que são o objeto de análise — como um episódio de atividade política da população brasileira, podemos considerar que a parcela referente aos modelos oriundos de estudantes de Gestão em Políticas Públicas representa uma opinião especialista acerca do tema. Esses MMs devem optar por uma descrição proporcionada por elementos relacionados à Política e à Administração pública (partidos, corrupção, etc). A Figura 30a e a Figura 30b ilustram essa diversidade de conhecimento por meio da apresentação de exemplos dos MMs elicitados.

Figura 30a – Diversidade dos modelos: a) MM oriundo de estudante de Ciências do Esporte; b) MM oriundo de estudante de Engenharia de Manufatura.



Figura 30b – Diversidade dos modelos: c) MM oriundo de um estudante de Engenharia de Produção; d) MM oriundo de estudante de Gestão do Agronegócio; e) MM oriundo de estudante de Gestão de Comércio Internacional; f) MM oriundo de estudante de Gestão de Empresas; g) MM oriundo de estudante de Gestão de Políticas Públicas; h) MM oriundo de estudante de Nutrição.



Fonte: Produção do próprio autor.

Todos os 148 modelos compostos por ciclos que relacionaram um total de 137 elementos foram cadastrados no SIAD e submetidos à base de conhecimento via interface do sistema a partir do padrão apresentado pela Tabela 3 e pela Tabela 4 para informação dos valores de *Proximidade_{Agente}* (P_A) e *Proximidade_{Problema}* (P_P) associados a cada elemento. No caso da atribuição dos valores de P_P , foram considerados os níveis apresentados pela Figura 31 que indicam a distância do elemento em relação ao problema que pretende descrever. É importante observar que os nomes dos elementos passaram por um processo de uniformização quando do cadastramento no sistema. Assim, elementos que buscavam descrever situações semelhantes foram adequados no que diz respeito às suas nomenclaturas.

Tabela 3 – Padrão para informação dos valores associados ao parâmetro *Proximidade_{Agente}*

Temática	Administração, Economia, Governança	Esportes, Eventos esportivos	Infraestrutura, Logística	Política	Qualidade, Eficiência	Saúde
Curso	P_A	P_A	P_A	P_A	P_A	P_A
Ciências do Esporte	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0
Engenharia de Manufatura	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5
Engenharia de Produção	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5
Gestão de Agronegócio	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5
Gestão de Comércio Internacional	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5
Gestão de Empresas	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5
Gestão de Políticas Públicas	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5
Nutrição	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0

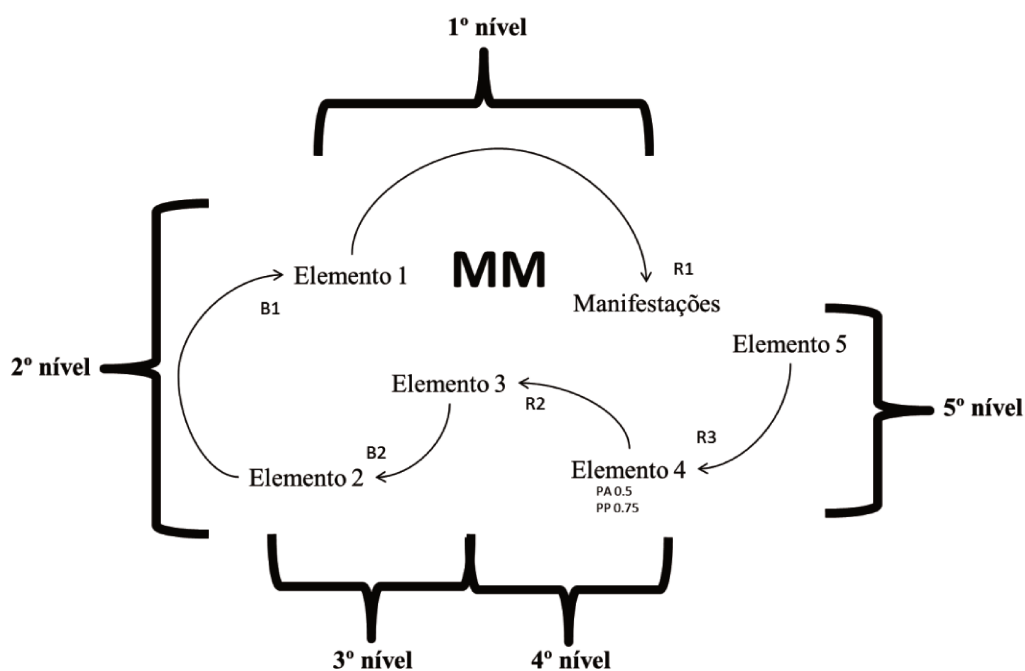
Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 4 – Padrão para informação dos valores associados ao parâmetro $Proximidade_{Problema}$

Nível do elemento	$Proximidade_{Problema}$
1º	1,0
2º	0,75
3º	0,5
4º	0,25
5º ou maior	0

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 31 – Níveis dos elementos de um modelo mental



Fonte: Produção do próprio autor.

É importante salientar que os valores referentes aos parâmetros $Proximidade_{Agente}$ e $Proximidade_{Problema}$ passaram pela conversão numérico-linguística descrita pela Seção 5.1.2. Após a realização dos cálculos referentes ao método de análise e comparação foram obtidos os resultados que são expostos na Seção 6.3.

6.3 Resultados

Para obtenção dos resultados, o sistema inteligente de apoio à decisão analisou os 148 modelos mentais de universitários que buscavam descrever as manifestações ocorridas em junho e julho de 2013 no Brasil. Considerando que a análise é executada par a par e que todos esses MMs foram comparados, o SIAD realizou 10.878 comparações entre essas estruturas de representação de conhecimento. Por isso, esse também foi o número de cálculos de PDE (Proporção de Distância entre Elementos) e PDM (Proporção de Distância entre Modelos). Além disso, foram analisados os ciclos de cada modelo, o que resultou um número de 111.652 cálculos de PDC (Proporção de Distância entre Ciclos) perfazendo um total de 133.408 comparações, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Total de comparações executadas

Tipo de comparação	Comparação entre elementos	Comparação entre ciclos	Comparação entre modelos	Total
Número de comparações	10.878	111.652	10.878	133.408

Fonte: Produção do próprio autor.

A Tabela 6 apresenta a ordenação dos valores médios associados a cada modelo mental. Esses valores se referem à representatividade dos modelos em relação à descrição do fenômeno das manifestações e foram obtidos pelo sistema inteligente de apoio à decisão conforme o método apresentado no Capítulo 5. Essa tabela destaca os modelos de maior e menor representatividade, por isso, os resultados referentes a todos os 148 MMs analisados neste estudo de caso podem ser conferidos em tabela do Apêndice B desta dissertação.

A discussão acerca dos resultados obtidos pode se dar mediante a observação de alguns desses modelos.

Tabela 6 – Modelos mentais de maior e menor representatividade

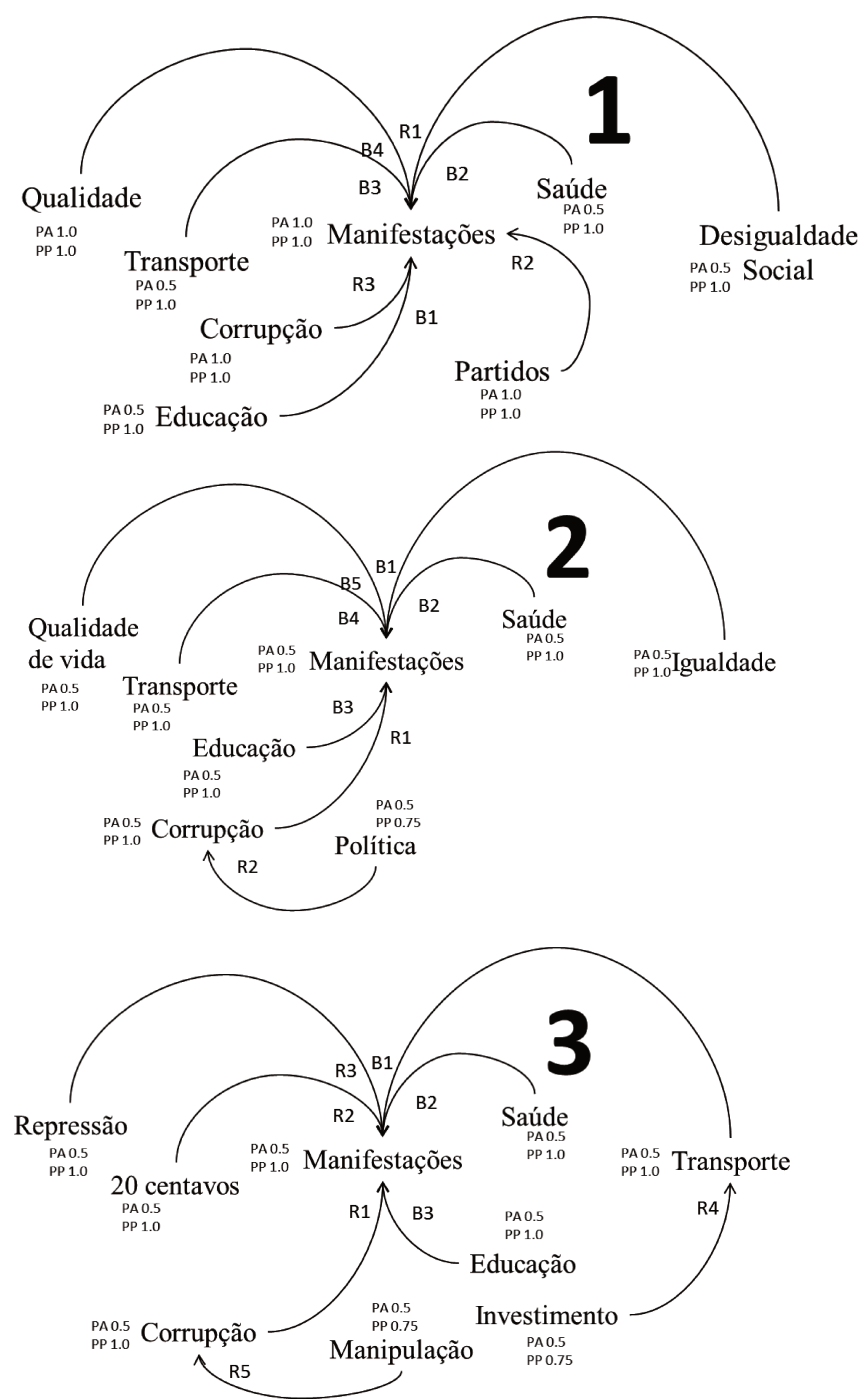
	Modelo Mental	Número de comparações entre modelos (n)	Valor médio do modelo mental
Modelos mentais de maior representatividade	1	147	0,26939
	2		0,26735
	3		0,25102
	4		0,25102
	5		0,24898
	6		0,24694
	7		0,24490
	8		0,24490
	9		0,24286
	10		0,24286
Modelos mentais de menor representatividade	138	147	0,20000
	139		0,20000
	140		0,20000
	141		0,20000
	144		0,20000
	145		0,20000
	146		0,20000
	147		0,20000
	148		0,20000

Fonte: Produção do próprio autor.

Quando se consideram os MMs de maior representatividade, é possível perceber o estabelecimento de um consenso sobre reivindicações associadas à qualidade dos serviços públicos e do atendimento a direitos básicos (no mínimo três dentre Educação, Saúde, Segurança, Transporte e Moradia), bem como ao sentimento de indignação diante da corrupção das instituições políticas brasileiras. A recorrência desse sentimento, inclusive, pode apontá-lo como principal causa dos acontecimentos.

O consenso sobre as causas das manifestações representa o conhecimento comum pertinente aos modelos mentais analisados. Esse conhecimento está presente, por exemplo, nos três MMs de maior representatividade que são ilustrados pela Figura 32.

Figura 32 – Modelos mentais de maior representatividade dentre os 148 MMs analisados pelo estudo de caso



Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 32 permite observar que o método de análise e comparação de modelos mentais privilegiou modelos com oito elementos cada. A Tabela 7 mostra que se considerarmos o total de elementos utilizados e a frequência com que ocorrem entre todos os MMs analisados, é razoável

que um método que se propõe a identificar o conhecimento comum beneficiasse a classificação de modelos que apresentassem um número elementos próximo à média.

Tabela 7 – Média de elementos por modelo mental

Total de elementos utilizados	Número de ocorrências	Total de modelos	Média de elementos por modelo mental
137	1261	148	8,52

Fonte: Produção do próprio autor.

Outra consideração importante se refere à distribuição acadêmica dos MMs mais representativos que acaba por mostrar a capacidade do método em avaliar a representatividade dos modelos mentais. Como mostra a Tabela 8, sete dos oito cursos foram representados pelos dez modelos que receberam as melhores classificações, sendo que o mais representativo é oriundo do curso de Gestão de Políticas Públicas e, por isso, diz respeito a uma opinião especialista acerca do tema investigado.

Tabela 8 – Distribuição acadêmica dos modelos mentais mais representativos

Nome do Curso	Modelos mais representativos
Ciências do Esporte	1
Engenharia de Manufatura	1
Engenharia de Produção	2
Gestão do Agronegócio	0
Gestão de Comércio Internacional	1
Gestão de Empresas	1
Gestão de Políticas Públicas	1
Nutrição	3
Total	10

Fonte: Produção do próprio autor.

Com relação à diversidade etária dos dez MMs mais representativos a distribuição é apresentada pela Tabela 9. Também é razoável verificar que os modelos mentais mais representativos se situam predominantemente entre a faixa etária (20 e 21 anos) que possuía a maior quantidade de modelos de toda a amostra.

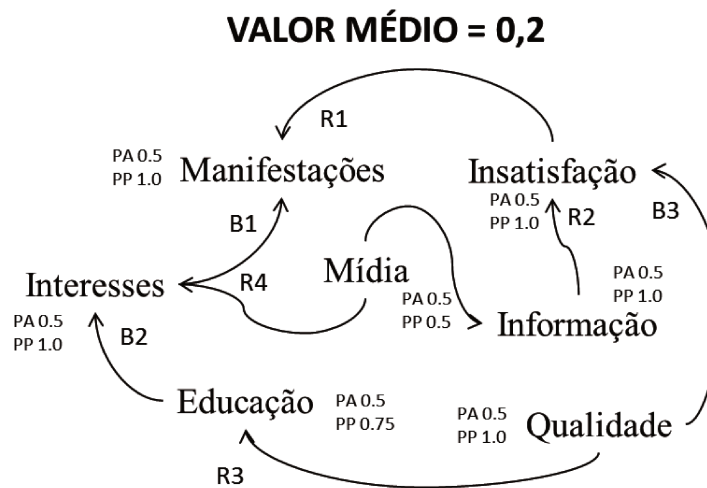
Tabela 9 – Distribuição etária dos modelos mentais de maior representatividade

Idade (anos)	Quantidade total	Quantidade entre os modelos mentais mais representativos
18 a 19	21	1
20 a 21	100	8
22 a 23	20	1
24 a 25	2	0
Mais de 25	5	0
Total	148	10

Fonte: Produção do próprio autor.

No tocante aos modelos de menor representatividade, a Figura 33 ilustra um MM que despreza o sentimento relativo à corrupção política e que restringe suas reivindicações a serviços associados a, no máximo, um dos direitos básicos (Educação, Saúde, Segurança, Transporte e Moradia). Assim, os modelos menos representativos, geralmente, possuem um número de elementos inferior (ou muito superior) à média apresentada na Tabela 7. Esses elementos também superestimam as relações entre elementos como “Mídia” e “Informação” que, muito embora tenham motivado os acontecimentos, não são elementos considerados, por um número significativo de MMs, como causas imprescindíveis para as manifestações.

Figura 33 – Exemplo de modelo mental de baixa representatividade



Fonte: Produção do próprio autor.

6.3.1 Validação dos resultados

Os resultados deste estudo de caso podem ser validados a partir de um método estatístico qualitativo baseado na Análise de Pareto. Esse método foi introduzido por Joseph Juran²⁹, que o batizou em homenagem ao economista italiano Vilfredo Pareto³⁰. Em seu “Manual de Economia Política” de 1906, Pareto percebeu que uma pequena parcela da sociedade de seu país detinha a maior parte da riqueza italiana. A partir dessa percepção e sob o princípio “poucos vitais, muitos triviais”, Juran, Gryna e Bingham (1974) identificaram que aproximadamente 80% das ocorrências de problemas de qualidade eram causadas por apenas 20% dos defeitos. Esse enunciado não demorou a demonstrar sua capacidade descritiva satisfatória para muitos dos fenômenos naturais e humanos. Aliás, ainda hoje o Princípio de Pareto tem se mostrado útil para determinação de prioridades de ação e concentração de esforços para solução de problemas de domínios diversos por meio da identificação das suas causas relevantes (CIRILLO, 2013).

A análise de Pareto se utiliza de um gráfico que ordena as causas de um determinado problema de maneira decrescente no que diz respeito ao número de ocorrências. Essa disposição enfatiza, à esquerda, as contribuições mais relevantes, além de apresentar a frequência de ocorrência acumulada associada aos itens que são apontados como causadores do problema analisado. O diagrama de Pareto é uma das sete ferramentas básicas da Qualidade e permite a visualização clara das principais causas dos fenômenos (JURAN; GRYNA; BINGHAM, 1974). Por isso, a opção pela validação de um método baseado em modelos mentais por meio dessa ferramenta estatística se dá, justamente, pela vocação analítica de ambos no âmbito da identificação das causas dos fenômenos (PRASAD; SUBBAIAH; PADMAVATHI, 2012). Assim, a consonância dos resultados oriundos dessas metodologias permite validar o método de análise e comparação de modelos mentais proposto por este trabalho.

²⁹ Joseph Moses Juran (24 de dezembro de 1924 – 28 de fevereiro de 2008) foi um consultor de negócios pioneiro na proposta e implementação de Gestão de Qualidade nas organizações. Depois da Segunda Grande Guerra dedicou-se às empresas do Japão, tendo grande influência na guinada da qualidade dos produtos japoneses.

³⁰ Vilfredo Pareto (15 de julho de 1848 - 19 de agosto de 1925) foi um engenheiro e economista italiano que contribuiu grandemente para o entendimento a respeito da distribuição de renda e das relações entre sociedade e economia. Foi Pareto o responsável por popularizar a expressão “elite” e por criar conceitos associados ao equilíbrio de um sistema e à satisfação em uma escolha, que são utilizados por diversas áreas do conhecimento humano, como, por exemplo, pela Teoria dos Jogos.

A Tabela 10 considera os 148 modelos e seus respectivos elementos para apresentar o número de ocorrências e as frequências relativa e acumulada dos trinta principais elementos (aproximadamente 20% de todos os elementos) apontados pelos MMs como causas do fenômeno investigado. A frequência relativa diz respeito à razão percentual entre o número de ocorrências de determinado elemento e o número total de ocorrências de todos os 137 elementos utilizados pelos MMs. A frequência acumulada se refere à soma entre as frequências relativas de todos os elementos, desde o de maior ocorrência até o que menos vezes apareceu entre todos os modelos mentais.

Tabela 10 – Principais elementos utilizados pelos 148 MMs para descrever as manifestações ocorridas entre junho e julho no Brasil

Número de Elementos	Elementos	Número de ocorrências	Frequência de ocorrência relativa (%)	Frequência de ocorrência acumulada (%)
1	Corrupção	125	9,913	9,913
2	Transporte	96	7,613	17,526
3	Educação	96	7,613	25,139
4	Saúde	84	6,661	31,800
5	Política	57	4,520	36,320
6	Investimento	51	4,044	40,365
7	Impostos	31	2,458	42,823
8	Qualidade	31	2,458	45,282
9	Desigualdade	27	2,141	47,423
10	Gastos públicos	27	2,141	49,564
11	Copa do Mundo	26	2,062	51,626
12	Professores	22	1,745	53,370
13	Segurança	20	1,586	54,956
14	Qualidade de vida	19	1,507	56,463
15	20 centavos	19	1,507	57,970
16	Insatisfação	19	1,507	59,477
17	Impunidade	18	1,427	60,904

Tabela 10 – Principais elementos utilizados pelos 148 MMs para descrever as manifestações ocorridas entre junho e julho no Brasil

Número de Elementos	Elementos	Número de ocorrências	Frequência de ocorrência relativa (%)	Frequência de ocorrência acumulada (%)
18	Partidos	18	1,427	62,331
19	Desvio de dinheiro	16	1,269	63,600
20	Hospitais	16	1,269	64,869
21	Escolas	16	1,269	66,138
22	Profissionalismo	15	1,190	67,328
23	Médicos	15	1,190	68,517
24	Descaso	14	1,110	69,627
25	Violência	14	1,110	70,738
26	Voto	14	1,110	71,848
27	Infraestrutura	14	1,110	72,958
28	Mídia	13	1,031	73,989
29	Governo	12	0,952	74,941
30	Polícia	12	0,952	75,892
Total			75,892	-

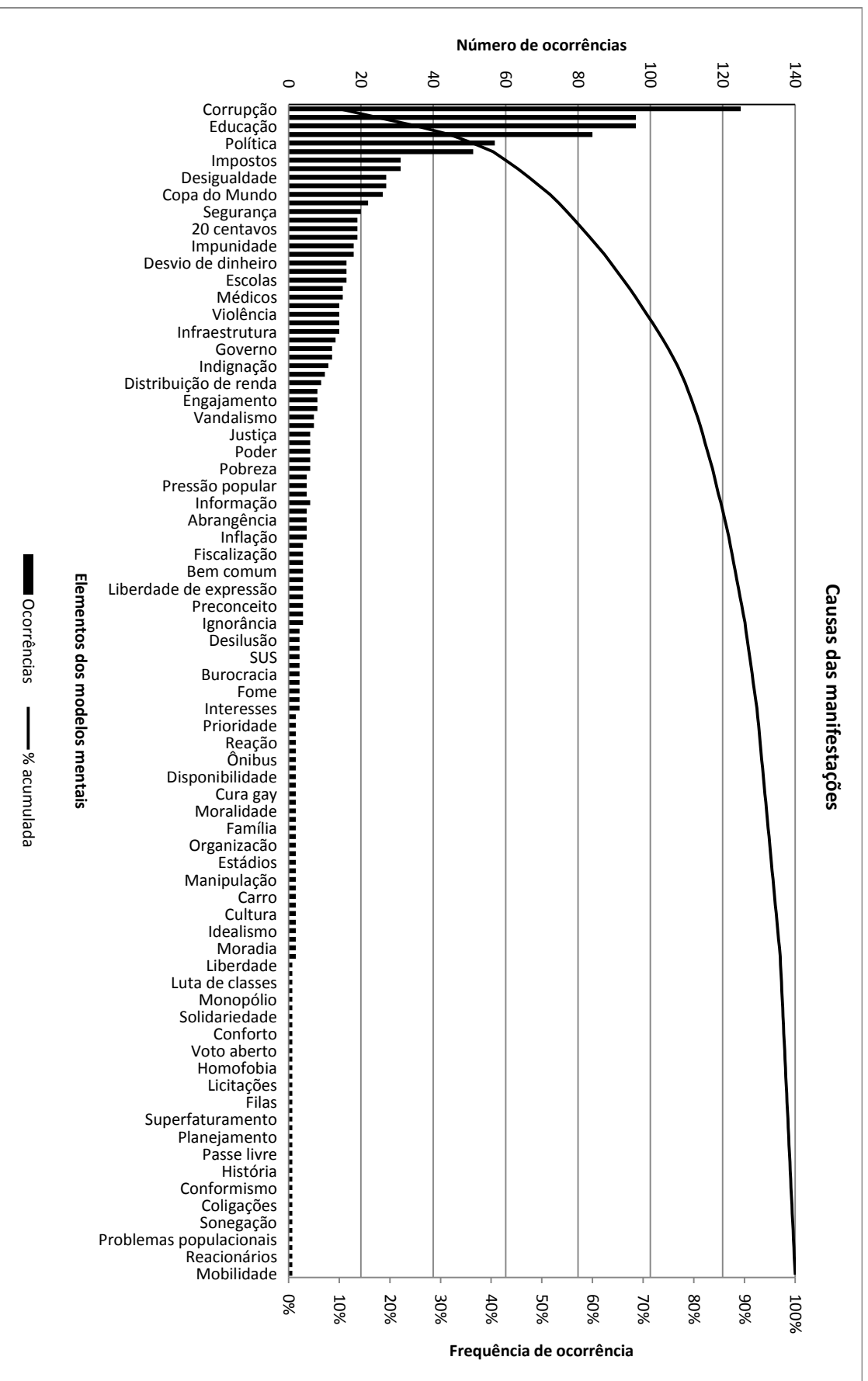
Fonte: Produção do próprio autor.

No caso da Tabela 10, são somadas as frequências relativas dos trinta elementos mais utilizados pelos MMs na descrição das manifestações. O número de ocorrências e frequências relativa e acumulada de todos os elementos utilizados pelos MMs para descrever as manifestações compõem a tabela do Apêndice C.

Essas tabelas permitem construir o gráfico de Pareto da Figura 34, que descreve as causas do objeto de estudo. O número de ocorrências de cada elemento pode ser visto por meio das barras dispostas de maneira decrescente da esquerda para direita, enquanto a contribuição de cada um desses elementos como causa para as manifestações pode ser visualizada por meio do gráfico de linhas que apresenta a frequência acumulada.

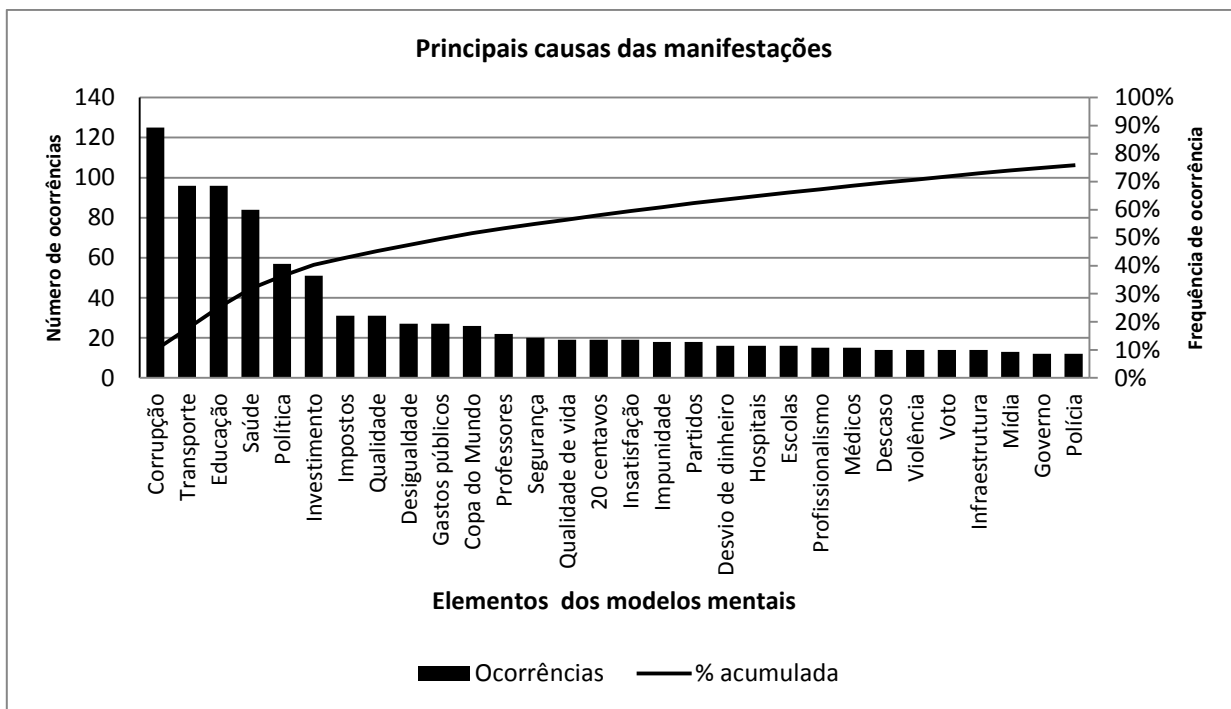
Pode-se, ainda, realizar um recorte no diagrama de Pareto, apresentado pela Figura 35, para observação detalhada dos dados da Tabela 10 por meio de um gráfico que apresenta apenas os trinta elementos mais utilizados (aproximadamente 20% de todos os elementos).

Figura 34 – Diagrama de Pareto referente aos elementos dos MMs utilizados para descrever as causas das manifestações



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 35 – Recorte do diagrama de Pareto referente aos principais elementos dos MMs utilizados para descrever as causas das manifestações.



Fonte: Produção do próprio autor.

Tanto o diagrama de Pareto quanto o seu recorte (Figura 34 e Figura 35, respectivamente) possibilitam confirmar o comportamento e tendência paretianos da descrição das causas apontadas pelos modelos mentais. Afinal, é possível verificar que trinta elementos (aproximadamente 20% do total) são responsáveis por descrever aproximadamente 76% das causas das manifestações conforme os 148 MMs analisados.

É possível avançar a verificação e, por consequência, atingir a validação do método de análise e comparação de modelos mentais mediante a confirmação de que essas principais causas estão contempladas pelos MMs classificados como mais representativos pelo método proposto por esta dissertação.

De fato, esses trinta elementos que respondem por 76% das ocorrências das causas se referem a elementos presentes em 20% dos modelos mentais de maior representatividade conforme os resultados obtidos pelo sistema inteligente de apoio à decisão. Essa constatação é satisfatória para a afirmação de consonância entre o método proposto por esta dissertação e o método estatístico, o que implica a validação deste trabalho.

7 Conclusão

A incerteza decorrente do aumento da complexidade dos problemas enfatiza os limites da racionalidade na tomada de decisão. O processo decisório deve, portanto, considerar as diversas descrições dos fenômenos da realidade. Esse processo de decisão colaborativa depende do consenso entre vários tomadores de decisão por meio da identificação do conhecimento que é comum a todos eles. Essa identificação envolve a representação do conhecimento e técnicas de análise e comparação das estruturas representativas.

Os modelos mentais são estruturas de representação do conhecimento que permitem descrever a realidade. Por consequência, a tomada de decisão colaborativa depende da comparação dos modelos mentais dos vários agentes de decisão. O desafio da análise e comparação de MMs advém de sua dependência da linguagem natural. Por isso, métodos baseados em Lógica Clássica são incipientes e pouco rigorosos se for considerada a dificuldade da tradução matemática e computacional das relações de causa e efeito pertinentes aos modelos mentais.

Os resultados associados ao estudo de caso e sua validação estatística demonstraram que a opção pela Lógica Nebulosa quando da confecção do método foi acertada. O projeto e a utilização de uma base de regras nebulosas composta por variáveis linguísticas adicionou uma dimensão analítica qualitativa aos métodos de comparação quantitativa. Assim o método de análise e comparação de MMs permite identificar os elementos e relações de causalidade pertinentes às descrições mais representativas dos fenômenos da realidade.

O sistema inteligente de apoio à decisão e a automatização da base de conhecimento foram fundamentais para viabilizar a submissão de uma quantidade massiva de modelos mentais, sob a qual o método se comportou de maneira estável e aderente aos resultados estatísticos utilizados para validação da proposta deste trabalho.

7.1 Contribuições

Os MCNs e os MCNBRs utilizam a Lógica Nebulosa e a construção de uma base de regras nebulosas, respectivamente, como uma maneira de aumentar a capacidade representativa de um modelo mental. Essa frequente estratégia é utilizada para representar as relações de causalidade existente entre elementos, no tocante à construção e simulação de modelos mentais. Este trabalho também utiliza a mesma estratégia, contudo propõe que a Lógica Nebulosa e que uma base de regras nebulosas sejam utilizadas para análise e comparação de modelos mentais.

Nesse sentido, as contribuições do método apresentado residem no fato de que ele não visa construir ou simular modelos, mas adicionar uma abordagem qualitativa aos métodos de comparação de modelos mentais, além de apresentar uma alternativa metodológica satisfatória para análise dos MMs.

7.2 Aplicações

O método de análise de modelos mentais baseada em regras nebulosas permite comparar e avaliar opiniões proporcionadas por diversos agentes de decisão, a fim de identificar um conhecimento interdisciplinar que seja comum a um número representativo de *stakeholders*. Desse modo, há a indicação das opiniões mais adequadas para o estabelecimento de uma comunidade baseada no consenso típico de um processo de tomada de decisão colaborativa. Nesse sentido, esta proposta pode ser utilizada no apoio à tomada de decisão em contextos que envolvem um grande número de partícipes. Logo no Capítulo 1, esta dissertação se utilizou de um exemplo desse tipo de contexto, apresentando os problemas ocorridos em um evento diplomático para ilustrar as dificuldades inerentes aos processos decisórios dependentes de conhecimento consensual.

Este trabalho buscou o apoio à decisão complexa, que envolve contradição, incerteza e ambiguidade, por meio do oferecimento de uma alternativa que conceda celeridade aos processos decisórios de modo a torná-los menos desgastantes. Nesse sentido, as aplicações

podem se dar, por exemplo, no âmbito da Administração privada e pública, da Gestão do Conhecimento, do Direito, da Diplomacia e das Relações Internacionais (como facilitador na obtenção de consenso); da Política (como ferramenta para identificação de representatividade) e da Psicologia (na investigação dos MMs e das estruturas de representação de conhecimento).

7.3 Trabalhos futuros

O método de análise e comparação de modelos mentais proposto por este trabalho privilegia os modelos mentais típicos do consenso entre os agentes de decisão envolvidos em um processo colaborativo. Logo, há a preferência pela identificação de modelos constituídos por elementos e relações mais representativos, isto é, aqueles que são recorrentes e traduzem a descrição da maioria dos *stakeholders*. Assim, se forem considerados os modelos preteridos pelo método — isto é, aqueles que foram considerados menos representativos — é provável que sejam obtidas algumas descrições associadas à criatividade e a percepções alternativas dos fenômenos. Nessas representações reside conhecimento potencialmente associado a atividades de inovação e que, por isso, devem ser objeto de investigação. Interessa, por exemplo, o desenvolvimento de métodos que possibilitem identificar quais desses MMs representam potencial criativo e inovador e quais devem, de fato, ser descartados por ilustrarem visões distorcidas da realidade.

Ademais, algumas melhorias podem ser implementadas no SIAD. Pode-se, por exemplo, desenvolver um dicionário de dados que automatize o processo de uniformização da nomenclatura dos elementos dos modelos mentais, a fim de tornar a análise dos MMs mais precisa.

Referências

- ALBORS, J.; RAMOS, J. C.; HERVAS, J. L. New learning network paradigms: Communities of objectives, crowdsourcing, wikis and open source. **International Journal of Information Management**, v. 28, p. 194-202, 2008.
- ALI, N.; CHATER, N.; OAKSFORD, M. The mental representation of causal conditional reasoning: Mental models or causal models. **Cognition**, v. 119, p. 403-418, 2011.
- ARIAS, J. ¿Por qué Brasil y ahora? **El País**, 17 junho 2013. Disponível em: <http://internacional.elpais.com/internacional/2013/06/17/actualidad/1371432413_199966.html>. Acesso em: 21 setembro 2013.
- ARIAS, J. Brasil se levanta en protesta contra el aumento de los precios del transporte. **El País**, 12 junho 2013. Disponível em: <http://internacional.elpais.com/internacional/2013/06/12/actualidad/1371000636_370579.html>. Acesso em: 21 setembro 2013.
- AUMANN, C. A. Constructing model credibility in the context of policy appraisal. **Environmental Modelling & Software**, v. 26, p. 258-265, 2011.
- AXELROD, R. **The structure of decision: Cognitive Maps of Political Elites**. New Jersey, USA: Princeton University Press, 1976.
- AZADEGAN, A. et al. Fuzzy logic in manufacturing: A review of literature and a specialized application. **International Journal of Production Economics**, v. 132, p. 258-270, 2011.
- BEN-ZVI, T. Measuring the perceived effectiveness of decision support systems and their impact on performance. **Decision Support Systems**, v. 54, p. 248-256, 2012.
- BERKELEY, G. **Obras filosóficas**. Tradução de Jaimir Conte. [S.l.]: Editora da Unesp, 2010. 542 p.
- BERTALANFFY, L. V. The theory of open systems in physics and biology. **Science**, v. 111, p. 23-29, 1950.

BETTIOL, M.; SEDITA, S. R. The role of community of practice in developing creative industry projects. **Internationa Journal of Project Management**, v. 29, p. 468-479, 2011.

BOLTZMANN, L. On the fundamental principles and equations of mechanics. In: MCGUINES, B. **Ludwig Boltzmann: theoretical physics and philosophical problems**. Boston: Reidel, 1974. p. 101-128.

BROWN, M. B. Survey article: citizen panels and the concept of representation. **Journal of Political Philosophy**, v. 14, p. 203-255, 2006.

BÜCHELER, T.; SIEG, J. H. Understanding Science 2.0: Crowdsourcing and Open Innovation in the Scientific Method. **Procedia Computer Science**, v. 7, p. 327-329, 2011.

CAPELO, C.; DIAS, J. F. A system dynamics-based simulation experiment for testing mental model and performance effects of using the balanced scorecard. **System Dynamics Review**, v. 25, p. 1-34, 2009.

CARVALHO, J. P. On the semantics and the use of fuzzy cognitive maps and dynamic cognitive maps in social sciences. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 214, p. 6–19, 2013.

CARVALHO, J. P.; TOMÉ, J. Rule Based Fuzzy Cognitive Maps - Fuzzy Causal Relations. In: MOHAMMADIAN, M. **Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation: Evolutionary Computation & Fuzzy Logic for Intelligent Control, Knowledge Acquisition & Information Retrieval**. [S.l.]: IOS Press, 1999.

CARVALHO, J. P.; TOMÉ, J. **Rule Based Fuzzy Cognitive Maps and Fuzzy Cognitive Maps - A comparative study**. Proceedings of NAFIPS99. New York, USA: [s.n.]. 1999.

CARVALHO, J. P.; TOMÉ, J. **Mapas Cognitivos baseados em regras difusas: Modelação e simulação de Dinâmica de Sistemas Qualitativos**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2001. 361 p.

CARVALHO, J. P.; TOMÉ, J. **Rule Based Fuzzy Cognitive Maps - Expressing Time in Qualitative System Dynamics**. Proceedings of FUZZ-IEEE2001. Melbourne, Australia: [s.n.]. 2001.

CAVERSAN, L. O que querem os brasileiros. **Folha de São Paulo**, 21 setembro 2013. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/colunas/luizcaversan/2013/09/1345504-o-que-querem-os-brasileiros.shtml>>. Acesso em: 21 setembro 2013.

COELHO, M. Não entende quem não quer. **Folha de São Paulo**, 25 junho 2013. Acesso em: 27 setembro 2013.

COSIJN, E.; INGWERSEN, P. Dimensions of Relevance. **Information Processing and Management**, v. 36, p. 533-550, 2000.

COSTA, L. O que querem os manifestantes. **Observatório da Imprensa**, 11 junho 2013. Disponível em: <http://www.observatoriodaimprensa.com.br/news/view/o_que_querem_os_manifestantes>. Acesso em: 21 setembro 2013.

CRAIK, K. **The Nature of Explanation**. 1ª. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1943. 136 p.

CYERT, R. M.; MARCH, J. G. **A behavioral theory of the firm**. [S.l.]: [s.n.], 1992.

DANDURAND, F.; SCHULTZ, T.; REY, A. Including cognitive biases and distance-based rewards in a connectionist model of complex problem solving. **Neural Networks**, v. 25, p. 41-56, 2012.

DOYLE, J. K.; RADZICKI, M. J.; TREES, W. S. Measuring change in mental models of complex dynamic systems. In: QUDRAT-ULLAH, H.; SPECTOR, M. J.; DAVIDSEN, P. **Complex Decision Making: Theory and Practice**. Berlim: Springer-Verlag, 2008. p. 269–294.

DUBOIS, D. The role of fuzzy sets in decision sciences: Old techniques and new directions. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 184, p. 3-28, 2011.

DUBOIS, D.; PRADE, H. Gradualness, uncertainty and bipolarity: Making sense of fuzzy sets. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 192, p. 3-24, 2012.

ELOMDA, B.; HEFNY, H.; HASSAN, H. An extension of fuzzy decision maps for multi-criteria decision-making. **Egyptian Informatics Journal**, v. 14, p. 147-155, 2013.

FERYOK, A. Language teacher cognitions: Complex dynamic systems? **System**, v. 38, p. 272-279, 2010.

- FOKKINGA, B.; BLEIJENBERG, I.; VENNIX, J. M. **Group model building evaluation in single cases**: A method to assess changes in mental models. 27th International Conference of the System Dynamics Society. New Mexico, USA: [s.n.]. 2009.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Jornalistas da Folha depõem sobre repressão a protestos. **Folha de São Paulo**, 18 jul. 2013. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/poder/2013/07/1312729-jornalistas-da-folha-depoem-sobre-repressao-a-protestos.shtml>>. Acesso em: 03 jan. 2013.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Pesquisa mostra que apoio às manifestações cai em SP. **Folha de São Paulo**, 15 setembro 2013. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/poder/2013/09/1342221-pesquisa-mostra-que-apoio-as-manifestacoes-cai-em-sp.shtml>>. Acesso em: 26 setembro 2013.
- FORRESTER, J. **Industrial Dynamics**. Cambridge: MIT Press, 1961.
- FORRESTER, J. **Urban Dynamics**. Cambridge: MIT Press, 1969.
- FORRESTER, J. **World Dynamics**. Cambridge: Wriht-Allen Press, 1971. 142 p.
- FOSTER, J. Energy, aesthetics and knowledge in complex economic systems. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 80, p. 88-100, 2011.
- FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J. Science for the Post Normal Age. **Futures**, v. 25, p. 735-755.
- GARY, M. S. **Mental models and performance in complex, dynamic decision environments**. Proceedings of the Academy of Management. Anaheim, USA: [s.n.]. 2008.
- GLYKAS, M. Performance measurement scenarios with fuzzy cognitive strategic maps. **International Journal of Information Management**, v. 32, p. 182-195, 2012.
- GLYKAS, M. Fuzzy cognitive strategic maps in business process performance measurement. **Expert Systems with Applications**, v. 40, p. 1-14, 2013.
- GRAVONSKI, I. et al. A learning and knowledge approach to sustainable operations. **International Journal of Production Economics**, v. 140, p. 183-192, 2012.
- HABEL, J. We want a different Brazil. **Le Monde Diplomatique**, 02 jul. 2013. Disponível em: <<http://mondediplo.com/2013/07/02brazil>>. Acesso em: 27 set. 2013.

IDOETA, P. Um mês depois, manifestantes avaliam legado de megaprotestos. **BBC**, 17 julho 2013. Disponível em:

<http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2013/07/130716_protestos_ummes_opinioes_pai.shtml>. Acesso em: 27 setembro 2013.

IORIO, J.; TAYLOR, J. Boundary object efficacy: The mediating role of boundary objects on task. **International Journal of Project Management**, v. 32, p. 7-17, 2014.

JANG, J. R.; SUM, C.; MIZUTANI, E. **Neuro-Fuzzy and Soft Computing – A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence**. [S.l.]: Prentice Hall Inc, 1997.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental Models**: Toward a Cognitive Science of Language, Inference and consciousness. [S.l.]: Harvard Press University, 1983.

JOHNSON-LAIRD, P. N. The history of mental models. In: MANKTELOW, K. **Psychology of Reasoning**: Theoretical and Historical Perspectives. [S.l.]: Psychology Press, 2004. p. 388.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **How We Reason**. [S.l.]: Oxford University Press, 2006. 573 p.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental models and deductive reasoning. In: RIPS, L.; ADLER, J. **Reasoning**: Studies in Human Inference and Its Foundations. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental models and human reasoning. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, p. 1-8, 02 Setembro 2010.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Inference with Mental Models. In: HOLYOAK, K.; MORRISON, R. **The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning**. [S.l.]: Oxford Library of Psychology, 2012. p. 134-154.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental models and cognitive change. **Journal of Cognitive Psychology**, v. 25, p. 131-138, 2013.

JURAN, J.; GRZYNA, F.; BINGHAM, R. **Quality Control Handbook**. [S.l.]: McGraw-Hill, 1974. 1600 p.

KIM, M. K. Cross-validation study of methods and technologies to assess mental models in a complex problem solving situation. **Computers in Human Behavior**, v. 28, p. 703-717, 2012.

- KOSKINEN, K. Problem absorption as an organizational learning mechanism in project-based companies: Process thinking perspective. **International Journal of Project Management**, v. 30, p. 308-316, 2012.
- KOSKO, B. Fuzzy Cognitive Maps. **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 24, p. 65-75, 1986.
- KOSKO, B. Fuzzy Knowledge Combination. **International Journal Of Intelligent Systems**, v. 1, p. 293-320, 1986.
- KWAPIEN, J.; DROZDZ, S. Physical approach to complex systems. **Physics Reports**, 2012.
- LANGAN-FOX, J. et al. Analyzing shared and team mental models. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 28, p. 99–112, 2001.
- LANGFIELD-SMITH, K.; WIRTH, A. Measuring differences between cognitive maps. **Journal of the Operational Research Society**, v. 43, p. 1135–1150, 1992.
- LÄNSILUOTO, A.; JÄRVENPÄÄ, M.; KRUMWIEDE, K. Conflicting interests but filtered key targets: Stakeholder and resource-dependency analyses at a University of Applied Sciences. **Management Accounting Research**, v. 24, p. 228-245, 2013.
- LÉVY, P. **A Inteligência Coletiva: por uma antropologia do ciberespaço**. 4ª. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2003.
- LÉVY, P. **Cibercultura**. 3ª. ed. São Paulo: Editora 34, 2010. 272 p.
- LÓPEZ-NICOLÁS, C.; MEROÑO-CERDÁN, Á. Strategic knowledge management, innovation and performance. **International Journal of Information Management**, v. 31, p. 502-509, 2011.
- MAMDANI, E. H.; ASSILIAN. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 7, p. 1-13, 1975.
- MANSO, B.; BURGARELLI, R. ‘Epidemia’ de manifestações tem quase 1 protesto por hora e atinge 353 cidades. **O Estado de São Paulo**, 29 junho 2013. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/nacional,epidemia-de-manifestacoes-tem-quase-1-protesto-por-hora-e-atinge-353-cidades,1048461,0.htm>>. Acesso em: 29 setembro 2013.

- MARCH, J. Bounded Rationality, Ambiguity, and the Engineering of Choice. **The Bell Journal of Economics**, v. 9, p. 587-608, 1978.
- MARKÓCZY, L.; GOLDBERG, J. A method for eliciting and comparing causal maps. **Journal of Management**, v. 21, p. 305-333, 1995.
- MEADOWS, D. H. et al. **Limits to Growth**. [S.l.]: Universe Books, 1972. 205 p.
- MELNIK, R. Coupling control and human factors in mathematical models of complex systems. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 22, p. 351-362, 2009.
- MESSIAS, R. Desenvolvimento de ferramenta para comparação de modelos mentais. 8p. Projeto de Iniciação Científica CNPq/Pibic, 2013
- MINGERS, J.; WHITE, L. A review of the recent contribution of systems thinking to operational research and management science. **European Journal of Operational Research**, v. 207, p. 1147-1161, 2010.
- NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Gestão do Conhecimento**. 1ª. ed. [S.l.]: Bookman, 2008. 319 p.
- NOVÁK, V. Reasoning about mathematical fuzzy logic and its future. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 192, p. 25-44, 2012.
- O ESTADO DE SÃO PAULO. Protestos reúnem mais de 1 milhão nas ruas pelo País; grupo invade e depreda o Itamaraty; em Ribeirão, um morre atropelado. **O Estado de São Paulo**, 20 junho 2013. Disponível em: <<http://blogs.estadao.com.br/estadao-urgente/protestos-ocorrem-em-75-cidades-e-terao-seguranca-reforcada/>>. Acesso em: 21 setembro 2013.
- O'CONNOR, E. S. New contributions from old sources: Recovering Barnard's science and revitalizing the Carnegie School. **European Management Journal**, v. 31, p. 93-103, 2013.
- PALETZ, S.; SCHUNN, C.; KIM, K. The interplay of conflict and analogy in multidisciplinary teams. **Cognition**, v. 126, p. 1-19, 2013.
- PEDRYCZ, W.; AL-HMOUZ, R.; MORFEQ, A.; BALAMASH, A. Building granular fuzzy decision support systems. **Knowledge-Based Systems**, v. 58, p. 3-10, 2014.

PERRY, N. C. et al. Can reduced processing decision support interfaces improve the decision-making of less-experienced incident commanders? **Decision Support Systems**, v. 52, p. 497-504, 2012.

PHILLIPS, D. Thousands on streets in Brazil protests. **The Guardian**, 12 julho 2013. Disponível em: <<http://www.theguardian.com/world/2013/jul/12/thousands-streets-brazil-protests>>. Acesso em: 21 setembro 2013.

PLATE, R. Assessing individuals' understanding of nonlinear causal structures in complex systems. **System Dynamics Review**, v. 26, p. 19-33, 2010.

PRASAD, K.; SUBBAIAH, K.; PADMAVATHI, G. Application of Six Sigma Methodology in an Engineering Educational Institution. **International Journal of Emerging Sciences**, v. 2, p. 210-221, 2012.

RAMÓN, P. Poor, middle class unite in Brazil protests. **CNN**, 24 Julho 2013. Disponível em: <<http://edition.cnn.com/2013/06/28/world/americas/brazil-protests-favelas/index.html>>. Acesso em: 27 Setembro 2013.

REI, F. C. F. Rio + ou - 20: Considerações sobre governança. **InterfaceHS**, v. 7, p. 28-40, 2012.

RITCHIE-DUNHAM, J. **Balanced Scorecards, Mental Models, and Organizational Performance: A Simulation Experiment**. Tese de Doutorado. Austin: University of Texas. 2002.

ROMERO, S. Protests Fill City Streets Across Brazil. **The New York Times**, 2013. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2013/09/08/world/americas/protests-fill-city-streets-across-brazil.html?_r=1&>. Acesso em: 07 setembro 2013.

SAAD-FILHO, A. Mass Protests under 'Left-Neoliberalism': Brazil, June-July 2013. **Critical Sociology**, v. 39, p. 657-669, 2013.

SALMERON, J. Fuzzy cognitive maps for artificial emotions forecasting. **Applied Soft Computing Journal**, v. 12, p. 3704-3710, 2012.

SALMERON, J.; GUTIERREZ, E. Fuzzy Grey Cognitive Maps in reliability engineering. **Applied Soft Computing**, 2012.

SALMERON, J.; VIDAL, R.; MENA, A. Ranking fuzzy cognitive map based scenarios with TOPSIS. **Expert Systems with Applications**, v. 39, p. 2443-2450, 2012.

SCHAFFERNICHT, M. Causal Loop Diagrams Between Structure and Behaviour: A Critical Analysis of the Relationship Between Polarity Behaviour and Events. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 27, p. 653-666, 2010.

SCHAFFERNICHT, M.; GROESSER, S. **What's in a mental model of a dynamic system? Conceptual structure and model comparison**. International System Dynamics Conference. Albuquerque, USA: [s.n.]. 2009.

SCHAFFERNICHT, M.; GROESSER, S. A comprehensive method for comparing mental models of dynamic systems. **European Journal of Operational Research**, v. 210, p. 57-67, 2011.

SCONTRAS, G.; GRAFF, P.; GOODMAN, N. D. Comparing Pluralities. **Cognition**, v. 123, p. 190-197, 2012.

SENGE, P. **Fifth discipline: The Art and Practice of the Learning Organization**. 1^a. ed. [S.l.]: Currency, 1990.

SIBAJA, M.; BARCHFIELD, J.; BROOKS, B. Brazil Protests 2013 Grow: One Million Brazilians Hit The Streets. **The Huffington Post**, 21 jun. 2013. Disponível em: <http://www.huffingtonpost.com/2013/06/21/brazil-protests-2013_n_3478101.html>. Acesso em: 21 set. 2013.

SIMON, H. Theories of Bounded Rationality. In: MCGUIRE, C.; RADNER, R. **Decision and Organization**. [S.l.]: [s.n.], 1972. Cap. 8, p. 161-176.

STERK, B.; VAN ITTERSUM, M. K.; LEEUWIS, C. How, when, and for what reasons does land use modelling contribute to societal problem solving? **Environmental Modelling & Software**, v. 26, p. 310-316, 2011.

SU-HWAN, J.; YOUNG-GUL, K.; JOON, K. Individual, social, and organizational contexts for active knowledge sharing in communities of practice. **Expert Systems with Applications**, v. 38, p. 12423-12431, 2011.

THE ECONOMIST. Has Brazil blown it? A stagnant economy, a bloated state and mass protests mean Dilma Rousseff must change course. **The Economist**, 28 setembro 2013. Disponível em:

<<http://www.economist.com/news/leaders/21586833-stagnant-economy-bloated-state-and-mass-protests-mean-dilma-rousseff-must-change-course-has>>. Acesso em: 28 setembro 2013.

TJADERA, Y. et al. Firm-level outsourcing decision making: A balanced scorecard-based analytic network process model. **International Journal of Production Economics**, v. 147, p. 614–623, 2014.

TOLMAN, E. Cognitive Maps in rats and men. **The Psychological Review**, v. 55, p. 189-208.

TSADIRAS, A.; BASSILIADES, N. RuleML representation and simulation of Fuzzy Cognitive Maps. **Expert Systems with Applications**, v. 40, p. 1413–1426, 2013.

TULLBERG, J. Stakeholder theory: Some revisionist suggestions. **The Journal of Socio-Economics**, v. 42, p. 127-135, 2013.

VAHDANI, B. et al. A new design of the elimination and choice translating reality method for multi-criteria group decision-making in an intuitionistic fuzzy environment. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, p. 1781-1799, 2013.

VAN DELDEN, H. et al. A methodology for the design and development of integrated models for policy support. **Environmental Modelling & Software**, v. 26, p. 266-279, 2011.

VAN KOUWEN, F.; SCHOT, P.; WASSEN, M. J. A framework for linking advanced simulation models with interactive cognitive maps. **Environmental Modelling & Software**, v. 23, p. 1133-1144, 2008.

VERBUGH, L. **Participative Policy Modeling Applied to the Health Care Insurance Industry**. Tese de Doutorado. Nijmegen: University of Nijmegen. 1994.

WARMINK, J. J. et al. Identification and classification of uncertainties in the application of environmental models. **Environmental Modelling & Software**, v. 25, p. 1518-1528, 2010.

WIENER, N. **Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine**. [S.l.]: Hermann, 1958.

WITTGENSTEIN, L. **Tractatus Logico-Philosophicus**. Tradução de José Arthur Gianotti. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1968.

WU, Z.; XU, J. A consistency and consensus based decision support model for group decision making with multiplicative preference relations. **Decision Support Systems**, v. 52, p. 757-767, 2012.

WÜSTENBERG, S.; GREIFF, S.; FUNKE, J. Complex problem solving — More than reasoning ? **Intelligence**, v. 40, p. 1-14, 2012.

YÜCENUR, G.; DEMIREL, N. Group decision making process for insurance company selection problem with extended VIKOR method under fuzzy environment. **Expert Systems with Applications**, v. 39, p. 3702-3707, 2012.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information & Control**, v. 8, p. 338-353, 1965.

ZADEH, L. A. From computing with numbers to computing with words - from manipulation of measurements to manipulation of perceptions. **International Journal of Applied Mathematics and Computer Science**, v. 12, p. 307-324, 2002.

ZADEH, L. A. From Search Engines to Question Answering Systems - The Problem of World Knowledge, Relevance, Deduction and Precisation. In: SANCHEZ, E. **Fuzzy Logic and the Semantic Web**. [S.l.]: Elsevier, 2006. Cap. 9, p. 163-210.

ZADEH, L. A. Is there a need for Fuzzy Logic? **Information Sciences**, v. 178, p. 2751-2779, 2008.

ZHANG, Y. The impact of task complexity on people's mental models of MedlinePlus. **Information Processing and Management**, v. 48, p. 107-119, 2012.

ZHAO, Q. J.; WEN, Z. M. Integrative networks of the complex social-ecological systems. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 1383-1394, 2012.

Apêndice A

Formulário para elicitación de modelos mentais referentes ao Estudo de Caso.

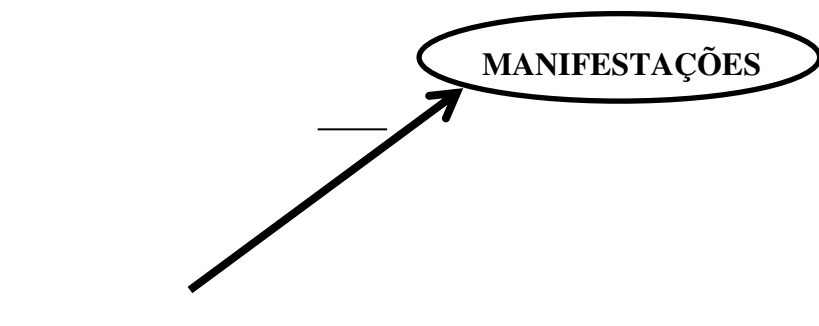


NC500 Lógica – Turma: _____

Nome: _____ RA: _____

Idade: _____ Curso: _____

Construa o seu modelo mental acerca daquilo que você aponta como causas das manifestações ocorridas em junho e julho de 2013.



Apêndice B

Tabela – Resultados referentes aos valores médios de representatividade de cada um dos 148 modelos mentais analisados pelo estudo de caso

Modelo Mental	Total de comparações entre modelos	Valor Médio do Modelo Mental
1	147	0,26939
2	147	0,26735
3	147	0,25102
4	147	0,25102
5	147	0,24898
6	147	0,24694
7	147	0,24490
8	147	0,24490
9	147	0,24286
10	147	0,24286
11	147	0,23878
12	147	0,23673
13	147	0,23469
14	147	0,23469
15	147	0,23469
16	147	0,23469
17	147	0,23469
18	147	0,23469
19	147	0,23469
20	147	0,23265
21	147	0,23061
22	147	0,23061
23	147	0,23061
24	147	0,23061
25	147	0,23061
26	147	0,23061
27	147	0,22857
28	147	0,22653
29	147	0,22653
30	147	0,22653
31	147	0,22653
32	147	0,22653
33	147	0,22245
34	147	0,22245

Tabela – Resultados referentes aos valores médios de representatividade de cada um dos 148 modelos mentais analisados pelo estudo de caso

Modelo Mental	Total de comparações entre modelos	Valor Médio do Modelo Mental
35	147	0,22245
36	147	0,21837
37	147	0,21837
38	147	0,21633
39	147	0,21429
40	147	0,21429
41	147	0,21224
42	147	0,20816
43	147	0,20816
44	147	0,20816
45	147	0,20816
46	147	0,20816
47	147	0,20816
48	147	0,20816
49	147	0,20816
50	147	0,20816
51	147	0,20816
52	147	0,20816
53	147	0,20816
54	147	0,20816
55	147	0,20816
56	147	0,20816
57	147	0,20612
58	147	0,20612
59	147	0,20612
60	147	0,20612
61	147	0,20612
62	147	0,20612
63	147	0,20612
64	147	0,20612
65	147	0,20612
66	147	0,20612
67	147	0,20612
68	147	0,20408
69	147	0,20408
70	147	0,20408
71	147	0,20408
72	147	0,20408

Tabela – Resultados referentes aos valores médios de representatividade de cada um dos 148 modelos mentais analisados pelo estudo de caso

Modelo Mental	Total de comparações entre modelos	Valor Médio do Modelo Mental
73	147	0,20408
74	147	0,20408
75	147	0,20408
76	147	0,20408
77	147	0,20408
78	147	0,20408
79	147	0,20408
80	147	0,20408
81	147	0,20408
82	147	0,20408
83	147	0,20408
84	147	0,20204
85	147	0,20204
86	147	0,20204
87	147	0,20204
88	147	0,20204
89	147	0,20204
90	147	0,20204
91	147	0,20204
92	147	0,20204
93	147	0,20204
94	147	0,20204
95	147	0,20204
96	147	0,20204
97	147	0,20204
98	147	0,20204
99	147	0,20000
100	147	0,20000
101	147	0,20000
102	147	0,20000
103	147	0,20000
104	147	0,20000
105	147	0,20000
106	147	0,20000
107	147	0,20000
108	147	0,20000
109	147	0,20000

Tabela – Resultados referentes aos valores médios de representatividade de cada um dos 148 modelos mentais

Modelo Mental	Total de comparações entre modelos	Valor Médio do Modelo Mental
110	147	0,20000
111	147	0,20000
112	147	0,20000
113	147	0,20000
114	147	0,20000
115	147	0,20000
116	147	0,20000
117	147	0,20000
118	147	0,20000
119	147	0,20000
120	147	0,20000
121	147	0,20000
122	147	0,20000
123	147	0,20000
124	147	0,20000
125	147	0,20000
126	147	0,20000
127	147	0,20000
128	147	0,20000
129	147	0,20000
130	147	0,20000
131	147	0,20000
132	147	0,20000
133	147	0,20000
134	147	0,20000
135	147	0,20000
136	147	0,20000
137	147	0,20000
138	147	0,20000
139	147	0,20000
140	147	0,20000
141	147	0,20000
142	147	0,20000
143	147	0,20000
144	147	0,20000
145	147	0,20000
146	147	0,20000
147	147	0,20000
148	147	0,20000

Apêndice C

Tabela – Análise estatística dos elementos utilizados pelos modelos mentais para descrever as manifestações ocorridas entre junho e julho de 2013 no Brasil

Número de Elementos	Elementos	Número de ocorrências	Frequência de ocorrência relativa (%)	Frequência de ocorrência acumulada (%)
1	Corrupção	125	9,913	9,913
2	Transporte	96	7,613	17,526
3	Educação	96	7,613	25,139
4	Saúde	84	6,661	31,800
5	Política	57	4,520	36,320
6	Investimento	51	4,044	40,365
7	Impostos	31	2,458	42,823
8	Qualidade	31	2,458	45,282
9	Desigualdade	27	2,141	47,423
10	Gastos públicos	27	2,141	49,564
11	Copa do Mundo	26	2,062	51,626
12	Professores	22	1,745	53,370
13	Segurança	20	1,586	54,956
14	Qualidade de vida	19	1,507	56,463
15	20 centavos	19	1,507	57,970
16	Insatisfação	19	1,507	59,477
17	Impunidade	18	1,427	60,904
18	Partidos	18	1,427	62,331
19	Desvio de dinheiro	16	1,269	63,600
20	Hospitais	16	1,269	64,869
21	Escolas	16	1,269	66,138
22	Profissionalismo	15	1,190	67,328
23	Médicos	15	1,190	68,517
24	Descaso	14	1,110	69,627
25	Violência	14	1,110	70,738
26	Voto	14	1,110	71,848
27	Infraestrutura	14	1,110	72,958
28	Mídia	13	1,031	73,989
29	Governo	12	0,952	74,941
30	Polícia	12	0,952	75,892
31	Indignação	11	0,872	76,764
32	Políticas públicas	10	0,793	77,557
33	Distribuição de renda	9	0,714	78,271
34	Desemprego	8	0,634	78,906

Tabela – Análise estatística dos elementos utilizados pelos modelos mentais para descrever as manifestações ocorridas entre junho e julho de 2013 no Brasil

Número de Elementos	Elementos	Número de ocorrências	Frequência de ocorrência relativa (%)	Frequência de ocorrência acumulada (%)
35	Engajamento	8	0,634	79,540
36	Oportunidade	8	0,634	80,174
37	Vandalismo	7	0,555	80,730
38	Salário	7	0,555	81,285
39	Justiça	6	0,476	81,761
40	Abuso de poder	6	0,476	82,236
41	Poder	6	0,476	82,712
42	Redes sociais	6	0,476	83,188
43	Pobreza	6	0,476	83,664
44	Transparência	5	0,397	84,060
45	Pressão popular	5	0,397	84,457
46	Mensalão	5	0,397	84,853
47	Informação	6	0,476	85,329
48	Ética	5	0,397	85,726
49	Abrangência	5	0,397	86,122
50	Economia	5	0,397	86,519
51	Inflação	5	0,397	86,915
52	Igualdade	4	0,317	87,232
53	Fiscalização	4	0,317	87,550
54	Legislação	4	0,317	87,867
55	Bem comum	4	0,317	88,184
56	Exploração	4	0,317	88,501
57	Liberdade de expressão	4	0,317	88,818
58	Cidadania	4	0,317	89,136
59	Preconceito	4	0,317	89,453
60	Repressão	4	0,317	89,770
61	Ignorância	4	0,317	90,087
62	PEC 37	3	0,238	90,325
63	Desilusão	3	0,238	90,563
63	Cultura	3	0,238	90,801
65	SUS	3	0,238	91,039
66	Emprego	3	0,238	91,277
67	Burocracia	3	0,238	91,515
68	Inovação	3	0,238	91,753
69	Fome	3	0,238	91,990
70	Capitalismo	3	0,238	92,228
71	Interesses	3	0,238	92,466

Tabela – Análise estatística dos elementos utilizados pelos modelos mentais para descrever as manifestações ocorridas entre junho e julho de 2013 no Brasil

Número de Elementos	Elementos	Número de ocorrências	Frequência de ocorrência relativa (%)	Frequência de ocorrência acumulada (%)
72	Corporativismo	2	0,159	92,625
73	Prioridade	2	0,159	92,784
74	Prepotência	2	0,159	92,942
75	Reação	2	0,159	93,101
76	Tecnologia	2	0,159	93,259
77	Ônibus	2	0,159	93,418
78	Metrô	2	0,159	93,577
79	Disponibilidade	2	0,159	93,735
80	Sucateamento	2	0,159	93,894
81	Cura gay	2	0,159	94,052
82	Desonestidade	2	0,159	94,211
83	Moralidade	2	0,159	94,370
84	Retorno	2	0,159	94,528
85	Família	2	0,159	94,687
86	Vadiagem	2	0,159	94,845
87	Organização	2	0,159	95,004
88	Ingressos	2	0,159	95,163
89	Estádios	2	0,159	95,321
90	Jovens	2	0,159	95,480
91	Manipulação	2	0,159	95,638
92	Exclusão	2	0,159	95,797
93	Carro	2	0,159	95,956
94	Moda	2	0,159	96,114
95	Cultura	2	0,159	96,273
96	Rebeldia	2	0,159	96,431
97	Idealismo	2	0,159	96,590
98	Mercantilização	2	0,159	96,749
99	Moradia	2	0,159	96,907
100	Desenvolvimento	2	0,159	97,066
101	Liberdade	1	0,079	97,145
102	Assistência	1	0,079	97,224
103	Luta de classes	1	0,079	97,304
104	Ato médico	1	0,079	97,383
105	Monopólio	1	0,079	97,462
106	Importações	1	0,079	97,542
107	Solidariedade	1	0,079	97,621
108	Intrigas	1	0,079	97,700

Tabela – Análise estatística dos elementos utilizados pelos modelos mentais para descrever as manifestações ocorridas entre junho e julho de 2013 no Brasil

Número de Elementos	Elementos	Número de ocorrências	Frequência de ocorrência relativa (%)	Frequência de ocorrência acumulada (%)
109	Conforto	1	0,079	97,780
110	Entretenimento	1	0,079	97,859
111	Voto aberto	1	0,079	97,938
112	Cubanos	1	0,079	98,017
113	Homofobia	1	0,079	98,097
114	Jogos	1	0,079	98,176
115	Licitações	1	0,079	98,255
116	Improbidade	1	0,079	98,335
117	Filas	1	0,079	98,414
118	Superlotação	1	0,079	98,493
119	Superfaturamento	1	0,079	98,573
120	Visibilidade	1	0,079	98,652
121	Planejamento	1	0,079	98,731
122	Marginalização	1	0,079	98,810
123	Passe livre	1	0,079	98,890
124	Nacionalismo	1	0,079	98,969
125	História	1	0,079	99,048
126	Particularidades	1	0,079	99,128
127	Conformismo	1	0,079	99,207
128	Medo	1	0,079	99,286
129	Coligações	1	0,079	99,366
130	Terceirização	1	0,079	99,445
131	Sonegação	1	0,079	99,524
132	Reconhecimento	1	0,079	99,603
133	Problemas populacionais	1	0,079	99,683
134	Saneamento	1	0,079	99,762
135	Reacionários	1	0,079	99,841
136	Lucro	1	0,079	99,921
137	Mobilidade	1	0,079	100,000
Total		1261	100,000	-

Índice

agentes de decisão	2, 3, 4	Conjuntos Difusos.....	4, 20
ambiental	14	Conjuntos <i>Fuzzy</i>	4, 20
análise.....	65	Conjuntos Nebulosos	xxiii, 4, 19, 20, 22, 25, 27, 30
Análise de Pareto.....	6, 81	consequente.....	10, 28, 29, 30
anterior	28, 29	conversão linguístico-numérica	5, 30, 31, 61
Antigüidade	19	conversão numérico-linguística	53, 75
aprendizagem corporativa	17	Craik.....	8
Aristóteles.....	19	Crowdfunding	18
arquétipos	15	Crowdlearnig.....	18
Ashby	14	Crowdsourcing	18
Automação e Controle.....	21	decisão ... xi, xv, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 12, 36, 39, 41, 43, 47,	
Balanced Scorecard	xxi, 13	48, 49, 62, 63, 64, 65, 76, 85, 87, 88	
base de conhecimento.....	3	Dinâmica dos Sistemas ..xv, xxiii, 2, 5, 11, 13, 14, 15,	
Base de conhecimento	xxiv, 47	16, 37, 38, 41, 49	
Berkeley	7, 89	disjunção	26, 29
bivalência	4, 31	encadeamento para frente.....	5, 28, 55
Boltzmann	8, 90	externalização	11
Boole	19	fenômeno	5, 14, 28, 41, 43, 47, 62, 65, 72, 76, 82
BSC	xxi, 13	Filosofia	7, 9, 17, 19
cadastro	64	fluxo e estoque	15
causalidade	4, 5, 10, 12, 15, 16	Forrester.....	2
centro de gravidade	5, 30, 61	Frege	19
Cibernética	8, 9, 14	Função trapezoidal	24
Ciências Cognitivas.....	8	Função triangular	24
Ciências Gerenciais	20	funções de pertinência.....	5, 22, 23, 25, 26, 28, 29, 30,
Ciências Humanas e Sociais	11	45, 53, 54, 55	
Clube de Roma	2	gestão de conhecimento	3
comparação.....	34, 36, 39, 57, 65	Gestão de Políticas Públicas	xvi, 71, 72, 73, 74, 79
complexidade.....	1, 3, 17	IEEE.....	xxi, 2
Computação.....	2, 9	imprecisão	4
Comunidades de Prática	18	incerteza	1, 2, 3, 4, 20
conclusão	28, 29	Inferência	xxiv, 28
conjunção	26, 29, 55	inferência de Mamdani.....	29
Conjunto Universo	25	Inovação Aberta	18

Inteligência Artificial	20	problemas	1, 2, 12, 13, 17
inteligência coletiva.....	xxiii, 3, 17, 18	processo cognitivo	7
interface	63	produto cartesiano	27
Johnson-Laird	9, 10	Proporção da Distância entre Ciclos (PDC)	36, 37
Kelvin	8	Proporção da Distância entre Elementos (PDE)	36, 37
Kosko	1, 19, 42, 94	Proporção da Distância entre Modelos (PDM)	36, 37
Lei da Contradição	20, 22	Psicologia.....	9
lei da não contradição	20	raciocínio	10
Lei do Meio Excluído	20, 22	realidade... ..	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 43, 44, 48, 50, 87, 88
lei do terceiro excluído	20	redes sociais	18, 69, 71
Leis de DeMorgan	27	Regras Nebulosas	xxi, xxiv, 28, 44
Leis Distributivas	27	representação do conhecimento	2
LÉVY	3, 18, 50, 94	SECI.....	xxi, 11
linguagem natural	xi, 4, 10, 19, 41, 87	silogismos lógicos	10
Linguística	9, 52, 53	símbolos	10
Lógica. vii, xxiii, xxiv, 6, 9, 10, 19, 20, 31, 33, 41, 42, 44, 45, 87, 88		sistema de gerenciamento da base dos modelos matemáticos.....	63
Macy Conferences	14	sistema de gerenciamento de base de dados.....	63
Mapa Cognitivo Nebuloso (MCN).....	42	Sistemas Baseados em Regras Nebulosas (SBRN)	28
Mapas Cognitivos.. xxiii, xxiv, 3, 8, 11, 12, 42, 44, 90		Socialização	xxi, 11
Mapas Cognitivos (MCs)	3, 11, 12	solução	7
Mapas Estratégicos (MEs).....	11, 12	Teoria Clássica.....	20, 21, 25
Maxwell.....	8	Teoria Clássica dos Conjuntos	20
McCulloch	14	Teoria de Modelos Mentais.....	9
método de Mamdani	5	Teoria do Controle	14
MIT	xxi, 2	Teoria dos Conjuntos Nebulosos	20, 21, 23
modelo causal	11	Teoria Geral dos Sistemas.....	14
modelo matemático	40	termos linguísticos	5, 28, 54
modelos matemáticos e computacionais.....	4	The New York Times.....	70, 96
Modus Ponens	10, 28	TICs	xxi, 17
multivalência	4	tomada de decisão	1, 3, 11, 20
Peirce.....	8	von Neumann	14
Pensamento Ocidental	19	Wiener.....	14
Pesquisa Operacional	9, 20	Zadeh	4, 20, 21, 25, 27, 55
premissa.....	28, 29		