

**OTTO ROBERT LESSING**

**MODELO DE TOMADA DE DECISÃO COM  
RISCO, CONFIANÇA E REPUTAÇÃO**

**CURITIBA**

**2018**

**OTTO ROBERT LESSING**

**MODELO DE TOMADA DE DECISÃO COM RISCO,  
CONFIANÇA E REPUTAÇÃO**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Informática.

Área de concentração: *Ciência da Computação*

**Orientador:** Prof. Dr. Edson Emilio Scalabrin

**CURITIBA**

**2018**

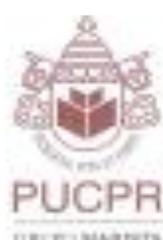
Dados da Catalogação na Publicação  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR  
Biblioteca Central  
Edilene de Oliveira dos Santos CRB 9 / 1636

Lessing, Otto Robert  
L639m      Modelo de tomada de decisão com risco, confiança e reputação / Otto Robert  
2018      Lessing ; orientador, Edson Emilio Scalabrin. -- 2018  
            192 f. : il. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba,  
2018.  
Bibliografia: f. 156-176

1. Informática. 2. Sistemas de suporte de decisão. 3. Processo decisório. 4.  
Agentes inteligentes (Software). 5. Reputação - Software. 6. Software –  
Confiabilidade I. Scalabrin, Edson Emilio. II. Pontifícia Universidade Católica do  
Paraná. Programa de Pós-Graduação em Informática. III. Título

CDD 20. ed. – 004



Pontifícia Universidade Católica do Paraná

## DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins que o aluno OTTO ROBERT LESSING, defendeu sua tese de doutorado intitulada "MODELO DE TOMADA DE DECISÃO COM RISCO, CONFIANÇA E REPUTAÇÃO", na área de concentração Ciência da Computação, no dia 10 de dezembro de 2018, no qual foi aprovado.

Declaro ainda que foram feitas todas as alterações solicitadas pela Banca Examinadora, cumprindo todas as normas de formatação definidas pelo Programa.

Por ser verdade, firmo a presente declaração.

Curitiba, 15 de fevereiro de 2019.

Prof. Dr. Emerson Cabrera Paraiso  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Informática  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná



## Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por me orientar e iluminar na conquista desse objetivo. A minha família, que sempre me apoiou nos momentos mais difíceis da vida, em especial a minha esposa *Carmen*, minha grande parceira, ao meu lado me tornou mais forte. Aos meus filhos, Michael, Marlon e Guilherme, de quem roubei horas preciosas para a realização desse trabalho e que transformaram minha vida para melhor, desejo que as minhas lutas sirvam de legado para eles. À Ana Flora filha de coração, espero que minha experiência sirva de inspiração para buscar novos caminhos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) juntamente com a PUCPR.

Agradeço aos professores do PPGIA da PUCPR, em especial ao meu orientador Dr. Edson Scalabrin que me fez o convite para entrar nesse programa e foi o grande responsável por eu estar aqui, sempre me acolheu com palavras de ânimo e entendeu minhas limitações.

Agradeço também a colaboração da UNC pelos auxílio financeiro.

A educação é uma força transformadora, programas como esse fortalecem a esperança de uma sociedade melhor. Agradeço aos meus colegas de estudo, Jones Granatyr e Vanderson Botelho e pelos trabalhos que fizemos e que resultou em artigos relevantes aceitos pela ACM e pela IEEE. Não posso deixar de agradecer também aos colegas André Pinz Borges, Jeferson Santos, Peterson Jaeger, Jeferson Knopp e Marcelo de Freitas Bortoli pelas dicas, conversas e contribuições para o meu tema.

À amiga Maria Alcenir de Carvalho que se prontificou a corrigir esse trabalho. O meu profundo agradecimento a todas as pessoas que contribuíram para a concretização deste trabalho, estimulando-me intelectual e emocionalmente. Percebo que o esforço, horas solitário, somado a motivação e inspiração de amigos, professores e familiares, foram elementos fundamentais nessa vitória. Espero retribuir o apoio e atenção que recebi e compartilhar o aprendizado dessa jornada com todos que necessitarem do meu conhecimento.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 .....	12
INTRODUÇÃO .....	12
<b>1.1 Motivação e Descrição do Problema .....</b>	<b>14</b>
Situação 01: quando o montante é pequeno, o risco compensa.....	16
Situação 02: quanto maior o montante envolvido, maior o risco .....	16
Situação 03: comparação dos cenários .....	17
<b>1.2 Hipóteses .....</b>	<b>18</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>18</b>
<b>1.4 Organização do Documento .....</b>	<b>19</b>
CAPÍTULO 2 .....	21
RISCOS – REVISÃO TEÓRICA .....	21
<b>2.1 Risco .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Taxonomia do Risco.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3 Teoria da Utilidade Esperada .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4 Método Multicritério de Apoio à Decisão .....</b>	<b>28</b>
2.4.1 Métodos de agregação aditivos.....	30
2.4.2 Considerações sobre o método da pesquisa.....	39
<b>2.5 Estrutura de um Modelo Multicritério .....</b>	<b>39</b>
<b>2.6 Análise de Sensibilidade .....</b>	<b>41</b>
<b>2.7 Teoria das Perspectivas .....</b>	<b>42</b>
2.7.1 Teoria das perspectivas e o ponto de equilíbrio.....	42
2.7.2 Questões críticas à teoria da utilidade e a teoria da perspectiva.....	46
<b>2.8 Considerações Finais .....</b>	<b>48</b>
CAPÍTULO 3 .....	49

MODELOS DE RISCO, CONFIANÇA E REPUTAÇÃO EM SISTEMAS MULTIAGENTES .....	49
<b>3.1 Inteligência Artificial e Agentes.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2 Sistemas Multiagentes .....</b>	<b>53</b>
3.2.1 Modelos baseados na utilidade .....	55
<b>3.3 Ambiente.....</b>	<b>57</b>
<b>3.4 Mecanismo de Coordenação de Agentes.....</b>	<b>58</b>
<b>3.5 Confiança e Reputação .....</b>	<b>61</b>
3.5.1 Revisões sobre modelos de risco, confiança e reputação .....	62
3.5.2 Paradigma.....	67
3.5.3 Fontes de informação .....	70
3.5.4 Suposição de comportamento.....	74
3.5.5 Preferências .....	75
3.5.6 Confiança inicial e ambiente aberto .....	76
3.5.7 Medidas de risco.....	77
3.5.8 Visibilidade.....	79
3.5.9 Segurança de informação.....	80
3.5.10 Granularidade .....	81
<b>3.6 Análise de Trabalhos Selecionados.....</b>	<b>82</b>
<b>3.7 Considerações Finais.....</b>	<b>86</b>
CAPÍTULO 4 .....	87
MODELO DE RISCO, CONFIANÇA E REPUTAÇÃO .....	87
<b>4.1 Considerações Iniciais .....</b>	<b>88</b>
<b>4.2 Modelo R1.....</b>	<b>90</b>
4.2.1 Reputação por Dossiê .....	93
4.2.2 Definição dos julgamentos .....	95
4.2.3 Análise de sensibilidade .....	97
4.2.4 Cálculo de utilidades .....	99
4.2.5 Avaliação do risco .....	100
4.2.6 Decisão do contratante .....	101
4.2.7 Recomendação do provedor .....	102

4.2.8 Fluxo de cálculos e decisões.....	103
<b>4.3 Modelo R2.....</b>	<b>105</b>
4.3.1 Método do modelo R2 .....	106
4.3.2 Processos para a tomada de decisão .....	108
4.3.3 Preferências do agente cliente .....	109
4.3.4 Viabilidade Técnica.....	111
4.3.5 Fluxo de Cálculos e Decisões.....	114
<b>4.4 Considerações Finais.....</b>	<b>117</b>
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>118</b>
<b>MODELO DE CONSISTÊNCIA PARA MATRIZ AHP .....</b>	<b>118</b>
<b>5.1 Considerações Iniciais .....</b>	<b>118</b>
<b>5.2 Multicritério e o Problema Matricial AHP .....</b>	<b>119</b>
<b>5.3 Modelo GA-AHPR.....</b>	<b>120</b>
<b>5.4 Fluxo de cálculos e decisões.....</b>	<b>128</b>
<b>5.5 Considerações Finais .....</b>	<b>131</b>
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>132</b>
<b>AVALIAÇÃO E ANÁLISE .....</b>	<b>132</b>
<b>6.1 Metodologia da Avaliação .....</b>	<b>132</b>
<b>6.2 Experimentos e Resultados do Modelo R1 .....</b>	<b>133</b>
6.2.1 Discussão sobre o modelo R1.....	138
<b>6.3 Experimentos do Modelo R2.....</b>	<b>139</b>
6.3.1 Resultados.....	141
<b>6.4 Comparativo entre os Modelos R1 e R2 .....</b>	<b>144</b>
<b>6.5 Experimentos e Resultados com Otimização de Matriz de Preferências.....</b>	<b>146</b>
<b>6.6 Considerações Finais .....</b>	<b>152</b>
<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>153</b>
<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>153</b>
<b>7.1 Contribuições.....</b>	<b>154</b>
<b>7.2 Trabalhos Futuros .....</b>	<b>155</b>

<b>7.3 Publicações.....</b>	<b>156</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>157</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>177</b>
Apêndice I.....	177
<b>1. Algoritmos Evolucionários.....</b>	<b>178</b>
1.1 Algoritmos Genéticos.....	179
1.2 Características Gerais .....	180
1.3 Representação.....	181
1.4 Seleção dos Pais .....	182
1.5 Operadores Genéticos.....	183
1.6 Parâmetros Genéticos .....	188
<b>2. Trabalhos relacionados a AHP e algoritmo genético.....</b>	<b>189</b>
<b>3. Considerações Finais.....</b>	<b>191</b>

## Lista de Figuras

Figura 1. Incerteza sobre o objetivo.....	23
Figura 2. Taxonomia do risco .....	26
Figura 3. Estrutura do método AHP.....	33
Figura 4. Análise do desempenho dos critérios pelo agente cliente .....	41
Figura 5. Função hipotética de valor da Teoria da Perspectiva .....	44
Figura 6. Curva de utilidade de aversão ao risco .....	45
Figura 7. Curva de utilidade de indiferença (neutralidade) ao risco.....	46
Figura 8. Curva de utilidade de propensão ao risco.....	46
Figura 9. Representação lógica de um agente ao interagir com o ambiente.....	51
Figura 10. Taxonomia para modelos de confiança e risco.....	67
Figura 11. Representação das dimensões dos modelos analisados.....	85
Figura 12. Estrutura genérica dos modelos de risco R1 e R2 .....	90
Figura 13. Fluxo de processos para a tomada de decisão.....	93
Figura 14. Variação dos pesos dos critérios.....	98
Figura 15. Fluxo dos processos para a tomada de decisão do modelo R2.....	108
Figura 16. Esquema do algoritmo genético GA-AHPR.....	119
Figura 17. Parâmetros genéticos de entrada .....	128
Figura 18. Arquivo com informações de entrada.....	119
Figura 19. Cenário sem risco... ..	128
Figura 20. Cenário com risco.....	128
Figura 21. Relação temporal de desempenho do portfólio do agente cliente.....	138
Figura 22. Preferências de um agente cliente em termos de cenário econômico, setor, ativo e atividade/tomada de decisão .....	140
Figura 23. Desempenho do portfólio de investimento do cliente .....	144
Figura 24. Algoritmo genético: Cálculo do <i>fitness</i> . .....	140
Figura 25. Resultado da execução do Algoritmo Genético .....	151
Figura 26. Função hipotética com um máximo local e outro local.....	180
Figura 27. Método de seleção por roleta.....	183

Figura 28. Cruzamento em um ponto.....	184
Figura 29. Cruzamento em dois pontos.....	185
Figura 30. Cruzamento uniforme.....	185
Figura 31. Mutação por troca.....	186
Figura 32. Mutação por inserção.....	186
Figura 33. Mutação por simples inversão.....	187
Figura 34. Mutação por deslocamento.....	187
Figura 35. Mutação por inversão.....	187

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Preferências e recíprocos .....	32
Tabela 2. Principais bases de dados de pesquisa.....	63
Tabela 3. Revisões e dimensões.....	64
Tabela 4. Classificação das dimensões selecionadas .....	66
Tabela 5. Comparativo dos modelos de confiança, reputação e risco .....	82
Tabela 6. Parte das variáveis e seus domínios utilizado nos cálculos de reputação, utilidade e risco .....	92
Tabela 7. Comparação dos julgamentos par-a-par.....	95
Tabela 8. Valores do índice de consistência randômica. ....	97
Tabela 9. Cálculo da variação dos pesos do critério $M_1$ dos agentes $P$ .....	98
Tabela 10. Memória dos cálculos de utilidade e risco .....	102
Tabela 11. Relevância dos parâmetros para a tomada de decisão .....	113
Tabela 12. Tomada de decisão de um agente cliente.....	114
Tabela 13. Matriz inicial .....	128
Tabela 14. Configuração da preferência dos dados .....	134
Tabela 15. Parâmetros de configuração de um agente cliente .....	134
Tabela 16. Utilidade calculada pelo agente cliente/investidor sem risco e com risco sobre ativo $X_1$ – recomendado por um agente provedor $p$ .....	135
Tabela 17. Portfólio de investimento – agente cliente .....	137
Tabela 18. Portfólio de investimento de um cliente .....	141
Tabela 19. Tipo de comportamento definido pelo agente cliente no cenário econômico.....	143
Tabela 20. Comparação entre os modelos R1 e R2 .....	145
Tabela 21. Características das matrizes .....	148
Tabela 22. Operadores e parâmetros utilizados no Algoritmo Genético .....	150
Tabela 23. Descendentes e fitness das matrizes encontradas pelo Algoritmo Genético .....	151
Tabela 24. Aptidão de indivíduos na população.....	183

## Lista de Símbolos

AG-AHPR	<i>Algoritmo Genético-AHP</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
BDI	<i>Believe Desire e Intention</i>
cf.	<i>Conforme</i>
ELECTRE	<i>Elimination and Choice Translating Reality</i>
e.g.	<i>Por exemplo</i>
FAHP	<i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i>
FDA	<i>Fuzzy Decision Approach</i>
FIPA	<i>Foundation for Intelligent Physical Agents</i>
IAD	<i>Inteligência Artificial Distribuída</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
i.e.	<i>isto é</i>
IFR	<i>Índice de Força Relativa</i>
KQML	<i>Knowledge Query and Manipulation Language</i>
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation</i>
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
MDT	<i>Multi-Dimensional Trust</i>
RDP	<i>Resolução de Problemas Distribuídos</i>
SMA	<i>Sistemas Multiagentes</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>

## Resumo

Nos sistemas multiagentes, os mecanismos de risco, confiança e reputação permitem avaliar comportamentos de indivíduos. Tais mecanismos ajudam promover a segurança das partes – e.g., contratante e contratado – sem restringir a liberdade de atuação em um ambiente aberto, no qual agentes podem entrar e sair. Esse trabalho apresenta um modelo de tomada de decisão que permite usar as dimensões de confiança, reputação e risco de cenário para atuar de forma mais segura em um sistema aberto. Aqui, cada agente  $c$  – no papel de contratante/cliente – pode operar fazendo uso de um conjunto significativo e bem conhecido de informações, a saber: traços de experiências diretas com outros agentes, testemunhos, contextos, informações sociais, preconceito e reputação. Cada agente é também dotado de nova estrutura de dados com base no cálculo de risco e pode assumir um dos seguintes papéis: cliente ou provedor. Cliente é o agente contratante de um serviço. Provedor é o agente contratado para a execução de um serviço. Lógica básica: o agente cliente avalia, na forma de *feedback*, o serviço contratado de determinado agente provedor. Cada *feedback* alimenta um modelo de reputação, seja ele centralizado ou descentralizado. Tal modelo é fundamental para que todo agente cliente possa fazer boas escolhas. Uma escolha pode requerer duas tarefas. A primeira tarefa pode ser simples, e.g., solicitar uma recomendação. A segunda tarefa pode ser a efetivação ou não da interação e leva em conta o resultado da primeira tarefa. Todavia, a consecução da segunda tarefa não é trivial, na medida em que pode haver risco da interação em função do cenário em questão. Assim, o agente cliente pode lançar mão de um método de cálculo baseado em cenários e preferências para reduzir riscos de interação. O método de cálculo de risco adotado foi inspirado no método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). AHP é um método para auxiliar indivíduos na tomada de decisões complexas. Ele permite realizar escolhas e justificá-las. Finalmente, o trabalho encerra dois métodos operacionais: AHP para o cálculo de risco e *Dossiê* para o cálculo confiança e reputação. A avaliação foi feita por meio da instanciação de diferentes cenários de avaliação. A diferenciação de cada cenário limita-se a configuração de cada cliente, com ou sem a equipagem de mecanismos para operar com risco e/ou confiança e reputação. O domínio do cenário de avaliação é o mercado de ações. A análise comparativa mostrou que o modelo de risco, confiança e reputação atende aos comportamentos conservador, moderado e agressivo e contribui de forma eficaz para o comportamento conservador. Tal modelo prioriza tanto a segurança como a liquidez e pode tornar os agentes mais eficientes na escolha dos seus parceiros.

**Palavras-Chave:** Modelo de tomada de decisão, Modelo de risco, Confiança e reputação, Agentes de software.

## Abstract

In multi-agent systems, the mechanisms of risk, trust, and reputation allow the assessment of individual behaviors. Such mechanisms help to promote party security – e.g. client and provider – without restricting freedom of action in an open environment in which agents can enter and leave. This paper presents a new model of decision making that allows the client to use the dimensions of trust/reputation and scenario risk to act more safely in an open system. Here, each agent  $c$  in the role of client can operate by making use of a significant and well-known set of information, namely: traits of direct experiences with other agents, witness, context, social information, prejudices and reputations. Each agent is also provided with a new data structure based on the risk calculation. Each agent assumes one of the following roles: client or provider. Customer is the contracting agent of a service. Provider is the agent hired to perform a service. Basic logic: the client agent evaluates, in the form of feedback, the contracted service of a given provider agent. Each feedback feeds a reputation model, whether centralized or decentralized. Such a model is fundamental so that every client agent can make good choices. A choice may require two tasks. The first task may be simple, e.g. requesting a recommendation. The second task may be the effectiveness or not of the interaction and takes into account the result of the first task. However, the achievement of the second task is not trivial, as there may be risk of interaction depending on the scenario in question. Thus, the client agent can use a calculation method based on scenarios and preferences to reduce interaction risks. The method of risk calculation adopted was inspired by the AHP (Analytic Hierarchy Process) method. AHP is a method to assist individuals in making complex decisions. It allows you to make choices and justify them. Finally, the work contains two operational methods: AHP for risk calculation and Dossier for reliability/reputation calculation. The evaluation was made through the instantiation of different evaluation scenarios. The differentiation of each scenario is limited to the configuration of each client, with or without the equipping of mechanisms to operate with risk and/or trust/reputation. The domain of the valuation scenario is the stock market. The comparative analysis showed that the risk, trust, and reputation model caters to conservative, moderate, and aggressive behaviors and contributes effectively to conservative behavior. Such a model prioritizes both security and liquidity and can make agents more efficient in choosing their partners.

**Keywords:** Decision-making model, Risk model, trust and reputation, software agents.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Confiança, risco e incerteza são tópicos que recebem muita atenção na literatura de tomada de decisão (Hertz e Thomas, 1984; Kahneman et al., 2016). Em muitas situações os eventos não são controláveis (chamados estados da natureza) e podem afetar o resultado da decisão. A literatura inicial refere-se à incerteza como sendo aqueles casos em que não se podem especificar probabilidades para esses eventos. Por outro lado, reserva-se o termo risco para casos em que se podem especificar probabilidades para esses estados da natureza. A diferença entre risco e incerteza é a possibilidade ou não de quantificar as probabilidades em cada situação de decisão. Daignault et al., (2002) afirmam que “a necessidade de confiar surge em situação de risco”. Sendo assim, o outorgante deve ter algo a perder se a confiança for violada. Se o outorgante tem uma maior percepção de controle, menos ele tem a necessidade de confiar (CORRITORE et al., 2003).

A percepção do risco na confiança é fator crucial para interações bem-sucedidas, e.g. nas relações comerciais. Nesse contexto, mecanismos que operam com cenário de risco procuram observar o comportamento dos indivíduos e atribuir um valor com base em utilidade para mensurar o risco. Aqui, o risco é usado no processo de tomada de decisão para considerar ou não uma interação com determinado indivíduo. Esses mecanismos ajudam a evitar que alguém atue de forma maliciosa em benefício próprio ou com o intuito de prejudicar os demais partícipes de um sistema. Gambeta, (1988) define confiança como sendo a probabilidade subjetiva de que um indivíduo realizará determinada tarefa da maneira esperada. Por outro lado, a reputação é definida como a coleção de opiniões recebidas de outros indivíduos (NUNES, 2011), ou ainda, segundo Abdul-Rahman e Hailes (2000), é uma expectativa sobre o comportamento de alguém baseado nas interações anteriores indicadas por outros indivíduos. “A reputação faz parte da confiança e ambas são denotadas por um valor numérico que representa o nível de confiabilidade de um determinado indivíduo” (GRANATYR, 2017; BRAGA et al., 2018).

A partir deste contexto, pesquisas realizadas no âmbito da comunidade de Inteligência Artificial propuseram alternativas que permitem considerar o conceito de risco e demais

representações mentais em modelos computacionais. Alguns exemplos de sistemas que, por meio de suas arquiteturas, podem estimar utilidades e outras representações mentais são: decisão de confiança em *e-commerce*; sistemas especialistas de teoria de decisão, sistemas de leilão eletrônico, entre outros (LUCAS, 1996; BOTELHO et al., 2009; FORTINO et al., 2014). Os *sistemas multiagentes*, estudados no contexto da especialidade *Inteligência Artificial Distribuída*, contribuem nesse sentido por meio do conceito de agente, definido como entidade capaz de interagir socialmente, representar de modo cognitivo, numérico ou híbrido, certos modelos mentais<sup>1</sup>.

Os *sistemas multiagentes* tendem alcançar maior êxito em ambiente aberto quando integram modelos de risco com modelos de confiança e reputação (BOTELHO, 2017). O modelo de risco permite aos agentes avaliar de forma criteriosa os resultados esperados – ou comportamentos – de potenciais parceiros. Diversos pesquisadores propuseram modelos relacionados à confiança e reputação, e em número mais reduzido de modelos de risco (CALVARESI et al., 2018a). Dado o exposto, é oportuno classificar as diferentes abordagens em conformidade com suas características e a natureza do problema. Dentre os pesquisadores que se propõem a identificar os conceitos e características dos modelos de risco, confiança e reputação, destacam-se: Grandison e Sloman (2000); Ramchurn et al., (2004); Sabater e Sierra (2005); Rehák et al., (2005); Wang et al., (2008); Lu et al., (2009); Al Jazzaf et al., (2010); Burnet et al., (2011) e Pinyol e Sabater (2013).

Os principais fatores que caracterizam um modelo de risco são:

- (i) o método utilizado que define o tipo do modelo de risco, classificado como *cognitivo* ou *numérico*. O *método cognitivo* está relacionado às crenças e estados mentais que o agente possui. Por outro lado, o *método numérico* baseia-se na agregação numérica de interações passadas e apresenta um conjunto de probabilidades subjetivas que um agente executará corretamente uma dada tarefa;
- (ii) as fontes de informação podem ser *diretas*, quando um agente obtém informação ao interagir diretamente com outros ou *indiretas* quando a informação é recebida a partir de outros agentes;
- (iii) o *preconceito*, quando os agentes *levam consigo* suas qualidades para outros ambientes e impactam em novos conceitos;
- (iv) a *detecção de mentirosos* identifica agentes fraudulentos;
- (v) a *semântica e preferências* possibilitam o cálculo de utilidade dos agentes;
- (vi) a *delegação de tarefas*, agentes que tomam decisão em nome de outros;
- (vii) *ambiente aberto quando* os agentes entram e saem de um dado sistema a qualquer momento; e

---

<sup>1</sup> Entende-se modelo mental como “a probabilidade de que o falante forme a intenção de comunicar certo fato ao ouvinte”. NORVIG e RUSSEL, (2013). *Inteligência Artificial*, Ed. Campus.

(viii) risco, quando os agentes procuram maximizar as utilidades para a tomada de decisão.

Este trabalho apresenta um modelo de tomada de decisão e permite usar risco, confiança e reputação para atuar de forma segura em um sistema aberto. Em tal sistema, cada indivíduo é um agente de software que assume um dos seguintes papéis: cliente ou provedor. O papel cliente denota o contratante de um serviço. O papel do provedor denota fornecedor de tal serviço. O cliente avalia, na forma de *feedbacks*, o serviço prestado por um provedor.

Cada *feedback* alimenta um modelo de reputação. Este último é fundamental para fazer boas escolhas de provedores. Assim, a primeira tarefa de um cliente é escolher um provedor para fazer uma iteração a partir de reputação do provedor. Essa iteração pode ser, e.g., para solicitar uma recomendação. Aqui, utiliza-se o modelo de reputação do tipo certificado e descentralizado (BOTELHO et al., 2011; BORGES et al., 2015). É usada uma estrutura particular denominada Dossiê. Essa estrutura particular, mantém imutável os registros de todos os *feedbacks*; tal estrutura está associada a uma arquitetura também particular que permite manter cada *Dossiê* de forma descentralizada.

A segunda tarefa do cliente é efetivar ou não uma transação ao usar o resultado da iteração no contexto da primeira tarefa. Para a realização da segunda tarefa, a proposta usa um método de cálculo de risco baseado em cenários e preferências. Tal método de cálculo de risco pode ser visto como uma ampliação do método AHP. De forma breve, o cenário de avaliação instancia uma relação de contratação de serviço voltado ao mercado financeiro, no qual um cliente investe em ativos recomendados por agentes especializados; cada recomendação representa uma oportunidade de negócio. Essa oportunidade pode ter um nível de risco associado, por exemplo, baixo, médio ou alto (SAATY e VARGAS, 2000). Por outro lado, o comportamento do agente cliente pode ser conservador, moderado ou agressivo (KAHNEMAN, 2012). A tomada de decisão acontece com a combinação do nível de risco associado à expectativa do agente cliente.

## 1.1 Motivação e Descrição do Problema

A complexidade dos processos nas organizações tem aumentado os problemas relacionados ao risco, confiança e reputação face às relações entre clientes e provedores (DAIGNAULT et al., 2002). Uma forma de diminuir o impacto do risco nessas relações é utilizar a reputação com base em informação-testemunha para auxiliar a tomada de decisão (BORGES et al., 2015; BRAGA et al., 2018).

Dentro da especialidade de inteligência artificial distribuída desenvolvem-se conceitos e abordagens que permitem que processos sejam autônomos, que o controle seja distribuído, assim como seus dados; i.e., sem autoridade reguladora ou entidade controladora. O aumento crescente de novas aplicações ligadas a sistemas dessa natureza nos dá uma indicação clara de uma nova tendência comportamental dos indivíduos que, por um lado, escolhem confiar em desconhecidos e

por outro lado questionam instituições financeiras que habitualmente são confiáveis. Entre esses questionamentos destacam-se questões ligadas à religião, corrupção em instituições públicas, instituições financeiras, ética, moral entre outros. Tais questões expõem alguns aspectos que diariamente enfraquecem a confiança e reputação, e cresce o risco de autoridades confiáveis (SHEHADA et al., 2018).

De forma concomitante, é visível a expansão do número de negócios realizados por meio de comunidades virtuais abertas, nas quais os agentes – clientes e/ou provedores de serviços ou produtos – interagem com desconhecidos e assumem risco em busca de oportunidades de negócios. Ao arriscar-se, todo agente em sua racionalidade<sup>2</sup> utiliza o comportamento do homem racional maximizador que em síntese, é o objeto econômico<sup>3</sup>. Embora a caracterização do objeto da economia seja útil e tenha se universalizado, ela tem que ser adequadamente interpretada e relativizada.

Nesse sentido, as pessoas não são racionais o tempo todo. Em várias ocasiões, as pessoas agem por impulso e colocam sua vontade acima da razão, sem medir as consequências dos atos. Outras vezes, age-se por mero hábito ou condicionamento social, porque “é assim que sempre foi feito”. E, quando procuramos ser racionais, ainda assim somos influenciados pela cultura e por nossas pulsões (muitas vezes, inconscientes) avessas à racionalização. Em geral, vale dizer: não agimos como puros agentes maximizadores. De forma que o “homem econômico racional” tem que ser tomado como uma construção ideal, e não como uma representação realista da ação humana. Essa representação de maneira geral fornece as bases para construir modelos econômicos com base na hipótese restritiva de que os agentes econômicos são estritamente racionais-maximizadores, vale dizer, são “*homens econômico-rationais*” (PAIVA e CUNHA, 2008; CALVARESI et al., 2018b).

Os modelos econômicos procuram extrair características humanas, tais como: paixões, pulsões irracionais, ambivalências e contradições, seus valores e padrões comportamentais condicionados culturalmente e carentes de qualquer universalidade. O que fica são as diferenças de propriedade – os agentes racionais são ricos, pobres, empresários, trabalhadores, banqueiros, latifundiários, camponeses, sem-terra, etc. – e de interesses – alguns privilegiam a tranquilidade, outros a acumulação, outros o lazer e o prazer imediato, outros o sucesso público, outros a segurança. E, com estas diferenças de propriedade e de interesses – que, a princípio, devem reproduzir de forma simplificada as diferenças objetivamente observadas em economias concretas. Por meio delas, constroem-se modelos em que agentes estritamente racionais-maximizadores, partem dos recursos de

---

<sup>2</sup> É racional o agente que busca obter o máximo benefício por unidade de dispêndio de seus recursos escassos. PAIVA e CUNHA. Noções de Economia. Fundação Alexandre de Gusmão. Brasília. 2008.

<sup>3</sup> Em Economia pode ser entendido como o estudo da alocação de recursos escassos (dinheiro, capacidade de trabalho, energia, etc.) entre fins alternativos (lazer, segurança, sucesso, etc.) por parte dos proprietários de recursos que buscam obter o máximo benefício por unidade de dispêndio. PAIVA e CUNHA. Noções de Economia. Fundação Alexandre de Gusmão. Brasília. 2008.

que dispõem, interagem com outros agentes igualmente racionais-maximizadores e buscam extrair das circunstâncias dadas, o máximo de benefício por unidade de dispêndio.

Nesse tipo de cenário se destacam duas formas de pensar dos agentes racionais: (i) quando o valor do item é pequeno, o risco compensa o investimento em mercado *online*; e (ii) quando o montante envolvido na negociação *online* é alto, há necessidade de um mecanismo que assegure a efetivação da transação financeira, visto a seguir.

### **Situação 01: quando o montante é pequeno, o risco compensa**

No primeiro contexto, um agente cliente *c*, por exemplo, necessita comprar um produto *X* e opta pelo mercado *online*. O valor original desse produto é R\$ 219,00. Em contrapartida, um modelo similar custa R\$ 73,00. Uma diferença de 1/3 no valor do item.

Nesse caso, quando a diferença do montante praticado no mercado é significativa, o agente cliente *c* pode obter informações sobre a transação financeira para assegurar-se de que os procedimentos estão corretos, embora nem sempre tenha informações suficientes. Adicionalmente, pode acontecer também que a quantidade de informação-testemunha a respeito do provedor seja insuficiente, causando desconfiança. Nesse caso, pode utilizar estratégias para testar a confiança do agente provedor, adquirindo, e.g., um produto de menor valor.

Nesse cenário de risco, outras questões podem influenciar a decisão de *c*, tais como: poder aquisitivo, o fato de não ter certeza do produto em si, custos de envio, tempo de espera, trocas dificultadas, forma de pagamento, entre outros. Porém, quando a diferença entre o produto original e o produto similar é atraente, *c* pode assumir o risco, mesmo sem encontrar informação-testemunha que o recomende ou até mesmo que a informação-testemunha seja ruim, e comprar o produto mais barato. Porque, caso o produto entregue não seja igual ao que foi especificado na compra, ou não seja entregue, o prejuízo é pequeno, i.e., o risco me recompensa.

Nesse caso, a tomada de decisão é simples, pois não exige um mecanismo de cálculo do risco sobre a transação, porquê as especificações e o valor do produto compensam correr o risco.

### **Situação 02: quanto maior o montante envolvido, maior o risco**

Nesse cenário, *c* deseja adquirir um lote de 250 produtos *Y* e são definidos alguns critérios que condicionam a compra, tais como: valor unitário do produto, prazo de entrega, prazo de pagamento, desconto e juro. Embora os critérios possam ter pesos diferentes, pelo grau de importância que representam no contexto, a tomada de decisão deve convergir para uma combinação de satisfação global dos critérios envolvidos na negociação.

Entre os vários provedores, há o provedor  $p_1$  que pratica o valor unitário de R\$ 3.500,00, enquanto no outro extremo, o valor do produto do provedor  $p_2$  é de R\$ 4.200,00. Portanto, uma diferença no valor unitário do produto de R\$ 750,00 ou 20%. Nesses casos, normalmente a busca por informação-testemunha quanto aos critérios, diferem umas das outras e não deixa claro qual decisão tomar, não há elementos suficientes para tomar uma decisão. Em algumas situações as informações são referendadas em um montante alto e deixam dúvida quanto à tomada de decisão. Outro aspecto crítico é a diferença dos valores financeiros envolvidos na negociação e normalmente tem papel decisivo na negociação.

A quantidade de critérios envolvidos no processo de negociação, a falta ou o desencontro de informações-testemunha contribui para tornar a tomada de decisão complexa. Essa situação eleva: o grau de risco da transação financeira; decrementa confiança, e como consequência tem-se receio pela possibilidade de prejuízo financeiro. Assim, são necessárias mais informações para minimizar erros no processo de tomada de decisão de  $c$ . Nesse caso, um mecanismo de cálculo de risco pode ser útil para auxiliar e dar serenidade/racionalidade na tomada de decisão.

### **Situação 03: comparação dos cenários**

No primeiro caso, o valor e os fatores envolvidos no processo de negociação conduzem  $c$  para uma tomada de decisão simples. Esta não requer um mecanismo para calcular o risco, porquê a proposta da situação 01 é mais vantajosa e vale a pena correr o risco.

Em contrapartida, no segundo caso, ao pressupor que  $c$  pode tomar sua decisão com base na confiança e reputação, mesmo assim existe o risco na transação financeira, por representar uma ação futura. Por melhor que seja a reputação do provedor, a reputação reflete acontecimentos do passado (histórico); a confiança reflete as ações do presente, não há como garantir que em uma próxima negociação, o risco não seja alto e a negociação resulte em prejuízo. Portanto, um modelo de cálculo de risco pode aumentar a confiança na tomada de decisão.

Apesar das diversas iniciativas que avaliam o risco das interações entre agentes clientes e provedores, modelos que englobam o risco ainda permanecem insuficientes para atender à complexidade dos inúmeros tipos de comunidades virtuais (GRANATYR et al., 2015; BRAGA et al., 2018). Comunidades Virtuais têm o objetivo de reunir entidades com interesses comuns de um ou mais segmentos visando transacionar produtos e serviços (JOSANG e LO PRESTI, 2004). Com o aumento da complexidade nas relações entre as organizações e indivíduos *hostis*, modelos de risco, confiança e reputação são úteis e podem ser instrumentos importantes em negociações, e.g., financeiras. Diante desses desafios, novas propostas que ampliem a eficiência de modelos de risco, confiança e reputação, são esforços válidos para tornar a coexistência de comunidades virtuais abertas cada vez mais factíveis.

## 1.2 Hipóteses

A hipótese que norteia essa tese é quádrupla:

- (I) um modelo de decisão que considera risco, confiança e reputação torna consistente a tomada de decisão;
- (II) um modelo de decisão multicritério pode ser operacional levando em conta as dimensões risco, confiança e reputação;
- (III) um modelo de tomada de decisão descentralizado – em que o controle e os dados estão logicamente e fisicamente distribuídos – é uma arquitetura dinâmica e escalável; e
- (IV) o modelo *Dossiê* é uma abordagem apropriada para a consecução de um modelo de tomada de decisão descentralizado.

Esta abordagem visa diminuir as atuais limitações (GRANATYR et al., 2015; BRAGA et al., 2018; SHEHADA et al., 2018) dos modelos de risco, confiança e reputação na obtenção de informações para fundamentar uma dada tomada de decisão. Ela se baseia na experiência direta entre agentes e na experiência indireta por meio de testemunhos obtidos de outrem.

## 1.3 Objetivos

Criar um modelo que permite operar de forma integrada risco, confiança e reputação para apoiar a tomada de decisão em ambiente virtual aberto. Em tais ambientes, classicamente, as informações para a tomada de decisão são oriundas de sistemas que calculam e disponibilizam graus de confiança e reputação de um agente provedor sobre um dado serviço. A proposta aqui é considerar juntamente ao cálculo de confiança e reputação por *Dossiê*, o cálculo do risco.

A consecução do objetivo geral acima foi colocada em prática por meio dos seguintes objetivos específicos:

- Realizar um estudo bibliográfico para compor o estado da arte com as principais contribuições em termos de modelos atualizados de risco, confiança e reputação, bem como suas estratégias para obter informações necessárias à percepção do risco com base em preferências da parte cliente;
- Definir um modelo matemático multicritério para estimar a utilidade do risco numa tomada de decisão;
- Definir um método de otimização da razão de consistência para o modelo multicritério;
- Integrar modelo de risco, confiança e reputação usando como estratégia a abordagem de *Dossiê*;

- Avaliar o modelo integrado – risco, confiança e reputação – instanciando diferentes cenários de experimentações.

#### 1.4 Organização do Documento

Esta tese está dividida em duas partes: Parte I formada pelos capítulos 2 e 3; e Parte II formada pelos capítulos 4, 5, 6 e 7.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão teórica dos principais conceitos e fundamentos relacionados a risco, mais especificamente riscos financeiros. Aborda a teoria da utilidade para formular a teoria de preferências e dá embasamento para definir a estrutura do modelo de decisão multicritério. Nesse contexto, a teoria das perspectivas contribui para definir os tipos de comportamento que são adotados por indivíduos em cenários de risco.

O Capítulo 3 apresenta diferentes modelos de risco e confiança, bem como suas dimensões e características. Ele fornece uma visão geral sobre os principais conceitos da área, tais como: sistema multiagente, modelo de risco, confiança e ferramenta de avaliação. Fornece também um resumo dos principais trabalhos com ênfase nas soluções propostas para problemas envolvendo o conceito de risco e confiança em ambientes abertos, pois o modelo de risco proposto faz uso destas dimensões e características. Aborda-se também dentro da teoria evolucionária, os fundamentos de algoritmo genético com seus operadores e parâmetros, responsáveis por otimizar a matriz de consistência do método AHP.

O Capítulo 4 apresenta o modelo de risco com as estruturas R1 e R2 e modelo de confiança Dossiê. Na estrutura R1, o modelo avalia além das preferências de  $c$  usando o método AHP, a utilidade de um dado conjunto de critérios. Para tal, baseia-se na proposta atual de  $p$ , na média da nota histórica do  $p$ , no fator do ajuste do risco e o valor de ajuste do risco para a contratação de um serviço. A estrutura R2 apresenta uma estrutura hierárquica genérica e utiliza também o método AHP com preferências de  $c$ . Para isso,  $c$  especifica um cenário econômico e define uma estrutura hierárquica de avaliação. Nessa estrutura,  $c$  pode especificar um dado tipo de comportamento que reflete seu perfil em uma dada situação, a saber: conservador, moderado ou agressivo.

O Capítulo 5 apresenta o modelo de um algoritmo genético como solução para resolver a inconsistência das matrizes das preferências da parte cliente. O modelo utiliza um conjunto de parâmetros e operadores genéticos para gerar matrizes consistentes. A revisão de literatura encontra-se no Apêndice I. A matriz solução é aquela que melhor representa a matriz inicial, gerada pelo mecanismo de otimização de preferências.

O Capítulo 6 inicialmente avalia os resultados obtidos sem a aplicação da estrutura AHP. Em seguida, avalia os resultados obtidos nos experimentos realizados com as estruturas R1 e R2 do modelo de risco proposto. Posteriormente, as estruturas R1 e R2 são comparadas com o objetivo de

diferenciá-las, bem como, apresentar as delimitações do modelo de risco perante a aplicação em um cenário de risco.

Finalmente, o Capítulo 7 apresenta as conclusões, contribuições, trabalhos futuros e publicações.

# CAPÍTULO 2

## RISCO – REVISÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos e fundamentos sobre risco. A Seção 2.1 introduz os principais aspectos do risco. A seção 2.2 classifica o tipo de risco e caracteriza o risco financeiro. Posteriormente, na Seção 2.3, é abordado a teoria da utilidade. Ela serve de base para formular a teoria de preferência das escolhas. Os elementos essenciais para determinar o método de decisão encontram-se na Seção 2.4. Nas Seções 2.5 e 2.6 são definidos os parâmetros da estrutura de um modelo de decisão multicritério e a análise de sensibilidade. Por fim, a Seção 2.7 trata da teoria das perspectivas com ênfase em finança comportamental integrada à teoria da utilidade. A utilização dessa estrutura serve de base para realizar os experimentos no modelo proposto.

### 2.1 Risco

Esta seção apresenta as definições de risco e risco financeiro, bem como a classificação de tipos de riscos. Examina-se também a influência do risco financeiro nas organizações, mais especificamente a tomada de decisão, objeto de estudo e experimento do modelo proposto.

Na medida em que o ser humano passou a considerar os processos racionais para enfrentar riscos, iniciou-se um processo de expansão da ciência, do empreendedorismo, do poder, da comunicação instantânea e das finanças complexas, fatos com que nos deparamos na atualidade (ROSA e TOLEDO, 2015). A capacidade de estimar o que pode acontecer no futuro e de optar entre várias alternativas é central às sociedades contemporâneas. A administração do risco guia-nos por uma ampla gama de tomada de decisões, que vão da previsão de serviços de longo prazo entre clientes a investidores na bolsa de valores (DUARTE JUNIOR, 2005). Nesse sentido, para considerar os tipos de risco no processo de tomada de decisão, o investidor necessita de um estudo detalhado e completo do contexto, bem como do emprego de ferramentas de análise de risco. Esse instrumento permite um grau de confiabilidade maior nas decisões tomadas, bem como avaliar e

controlar perdas e ganhos envolvidos nos investimentos (DAMADORAN, 2015). Partindo desse pressuposto, o que é risco?

No entendimento de Holton, (2004), são necessários dois elementos para configurar o risco: inicialmente deve ocorrer a incerteza sobre prováveis resultados de um determinado experimento; e, no segundo elemento, os resultados obtidos precisam ser relevantes em termos de utilidade. A norma internacional ISO 31000, (2009) e ISO Guia 73, (2009) traz a seguinte definição de Risco: “Risco é o efeito da incerteza nos objetivos”. O enfoque é dado no processo de otimização que oportuniza o objetivo mais provável, enfrentando o risco como um fato comum, por isso, deve ser administrado e, nesse sentido, não é bom e nem ruim. Por outro lado, para Purdy (2010), o risco decorre das preferências aos eventos potenciais de expor-se a uma situação na qual há expectativa de ganho, sabendo-se que há possibilidade de perdas ou danos. A intenção é maximizar o ganho, visto como oportunidade, e anular ou diminuir a perda, muito embora possa ocorrer o contrário. O risco necessariamente deve ser mensurável em termos de utilidade, caso contrário tem-se um evento que prospera a incerteza, pela dificuldade de prever exatamente o resultado de uma ação ou o efeito de uma determinada condição (FERMA, 2003).

Aven, (2011) define a avaliação do risco ao argumentar sobre a necessidade de sistematizar conhecimentos e incertezas sobre fenômenos, processos, atividades e sistemas sob análise, os quais visam estimar potenciais perigos e ameaças, causas e consequências, gerando condições de se distinguir o que é tolerável e aceitável e comparar opções para a tomada de decisão.

O ambiente organizacional opera com a expectativa de negócios que gerem retornos positivos, que procurem controlar o risco e as incertezas por meio de ferramentas que auxiliem à tomada de decisão. O risco é uma ferramenta importante para criar novas oportunidades de negócios. A Figura 1 ilustra o risco sobre o objetivo de uma atividade organizacional genérica conforme Rosa e Toledo, (2015).

A seta central aponta para o objetivo planejado de uma atividade qualquer, sob efeito da incerteza e está sujeito a produzir resultado real negativo ou abaixo da expectativa (setor limitado pela reta pontilhada à esquerda), bem como positivo ou acima da expectativa (setor limitado pela reta pontilhada à direita). A amplitude da seta interna de ponta dupla representa o risco como produto da incerteza conhecida sobre o objetivo, abrangendo os efeitos negativo e positivo.

A seta central (objetivo) deve pender para um dos lados. A seta identifica os efeitos positivos e negativos, representados por valores que expressam probabilidades da natureza de um determinado risco que não são necessariamente iguais. A tendência é que ocorra o efeito positivo sobre o efeito negativo ou vice-versa.

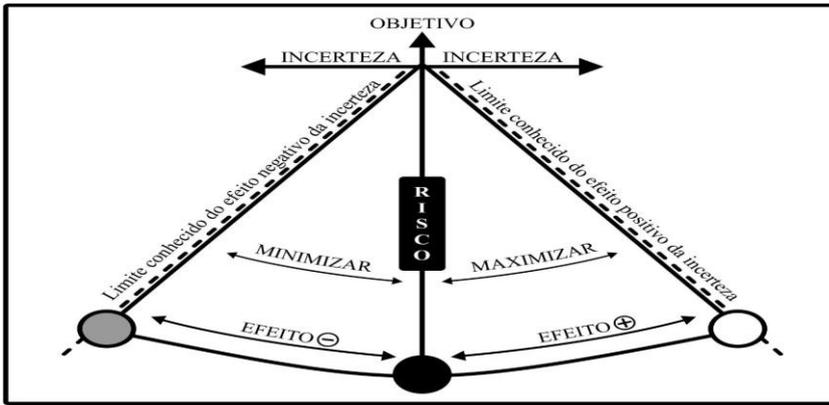


Figura 1. Incerteza sobre o objetivo

Fonte: Rosa e Toledo, (2015)

Esta tese considera o risco como a consequência de uma organização estabelecer e perseguir objetivos em um ambiente aberto. A incerteza decorre de fatores internos e externos com a possibilidade ou não de ser controlados e podem levar uma organização a não atingir seus objetivos, causando atrasos. Tais fatores e influências também podem levar os objetivos a serem obtidos antecipadamente ou excedidos. O risco, portanto, não é positivo nem negativo, mas as consequências que a organização apresenta podem variar de perda e prejuízo para ganho e benefício. Com base nesse pressuposto, o risco é uma figura de reflexão porquê faz a mediação entre benefícios e prejuízos, o que significa que faz do futuro um objeto de decisão do presente.

Dessa forma, o tratamento de risco deve preocupar-se em mudar a magnitude e a probabilidade de consequências, tanto positivas como negativas, maximizando os objetivos, para alcançar um aumento líquido no benefício. A tomada de decisão é, por sua vez, parte essencial nessa questão, pois determina o sucesso dos objetivos a serem alcançados pela organização.

Outras definições propostas sobre risco encontram-se em MacCrimmon e Wehrung, (1986); March e Shapira, (1992); Raff, (2000) e Ferma, (2003).

O risco oferece oportunidades ao mesmo tempo que expõe a resultados talvez indesejáveis. A dualidade do risco/recompensa está no cerne dessa questão, como será visto a seguir.

### Risco e recompensa

O risco faz parte do dia a dia em um ambiente organizacional (BARALDI, 2004). As decisões quase sempre envolvem risco, recompensa e perdas. Para ganhar, é preciso estar consciente da chance da perda em maior ou menor escala. As equivalências entre o risco e recompensa andam juntas (DAMADORAN, 2015). O conhecimento e a preparação de boas ferramentas de controle são essenciais para o aumento considerável das chances de êxito sobre o risco. Essa exposição fica ainda mais evidente quando se refere, por exemplo, a investimentos financeiros, tais como empresas que

atuam no mercado de capitais. Na contratação de serviços, há o interesse do contratante e do contratado, e cada um defende seus interesses e necessidades. Dependendo da situação, o risco pode recompensar uma ou as partes envolvidas no negócio. No entanto, em uma negociação, o ganho deve ser para todas as partes envolvidas no processo (DAMADORAN, 2015). Nesse sentido, medidas de desempenho auxiliam o decisor no controle do risco.

## **Risco e desempenho**

Desempenho é a forma de medir se uma organização atingiu seus objetivos e é capaz de se sustentar como negócio. Ele deve ser avaliado por meio de métricas que estejam de acordo com os objetivos de negócio da organização (MAXIMILIANO, 2008; KOTLER e CASLIONE, 2009). Nesse sentido, a busca por condições mais adequadas de se conduzir as relações entre cliente e provedor tem recebido cada vez mais atenção pelas organizações. Parâmetros como risco, confiança e reputação ganham força na medida em que as relações se tornam cada vez mais complexas e automatizadas nas organizações, pois precisam atender a seus clientes de modo consistente, aferir o desempenho, administrar riscos e saber como atuar em caso de incidentes.

Inicialmente, essas relações não envolviam sequer o conceito de parceria, tendo evoluído para relações na qual a contratação de serviços envolve um conjunto de mecanismos que avaliam a integridade do provedor, bem como os riscos envolvidos nos processos, para a efetivação do serviço. Dentre os processos envolvidos na negociação, ficam cada vez mais caracterizadas as exigências do cliente com relação ao serviço que deve ser prestado pelo provedor. Assim, a busca pelo melhor prestador de serviço faz com que seja classificado aquele com melhor desempenho, apoiado em indicadores capazes de qualitativamente e quantitativamente eliminar a subjetividade, facilitando a tomada de decisão (MORANTE, 2012). Na prática, o tomador de decisão estabelece critérios que julga serem essenciais ou prioritários para a organização em uma negociação, e com base nas suas preferências define o prestador de serviço que melhor atenda as especificações com base no desempenho e risco da proposta. Para isso, é necessário conhecer e classificar os tipos de risco que envolve o negócio.

## **2.2 Taxonomia do Risco**

Os pesquisadores reconhecem a atração exercida pelo risco e a maneira como ele afeta o comportamento humano, pois seu conhecimento é pautado pela incerteza e pelo conhecimento limitado do mundo (BERNSTEIN, 1998). O fato de se expor ao risco, não significa que ele não foi mensurado, isto é, a pessoa que pratica *sky-surfing* certamente utiliza todos os dispositivos de segurança de forma a evitar ou diminuir o risco. Mas numa escala de risco, essa mesma pessoa é

capaz de recusar-se a dirigir um automóvel sem o cinto de segurança ou investir no mercado de ações, pois considera essas atividades muito arriscadas. Algumas pessoas aceitam correr riscos pequenos, de menor consequência, mas expressam maior aversão ao risco envolvendo consequências mais sérias. No campo econômico, o comportamento arriscado pode mudar, e depende da idade da pessoa, experiência, tempo, local, e outros fatores que estão envolvidos na decisão de optar ou não pelo risco.

Quanto às pessoas levam do comportamento da sua vida para as organizações? O executivo tem a tendência de procurar ou evitar riscos? Como o risco afeta o comportamento, e quais as consequências para decisões relativas às organizações e investimentos? Essa problemática está no cerne de qualquer discussão sobre risco. O certo é que o comportamento do profissional pode projetá-lo criando aversão ao risco, mas ele também pode sentir-se atraído por ele, e como as pessoas têm sua própria natureza, é normal reagir de modo distinto diante de um mesmo estímulo (DAMADORAN, 2009).

Assim como as pessoas buscam parâmetros ou instrumentos que possam auxiliá-las em suas atividades para diminuir ou eliminar o impacto do risco, as organizações também procuram cercar-se de ferramentas de apoio ao processo decisório para administrar o risco. Em finanças, a relação risco-retorno indica que, quanto maior o nível de risco aceito, maior o retorno esperado dos investimentos. Este processo é válido tanto para investimentos financeiros como para os negócios (LIMA, 2018). O retorno do investimento é determinado pelos dividendos e pelo aumento do valor econômico da organização. Nesta linha de reflexão é importante entender não só a natureza do risco, mas também classificar para melhor compreender e gerenciar.

Na busca por padrões de determinação de risco, proliferam taxonomias sobre risco. Lima, (2018) destaca três grandes categorias: riscos estratégicos, riscos não estratégicos e riscos financeiros. Pela natureza dos riscos, eles se ramificam a partir das exposições e do tipo de risco associado. Uma análise de risco não precisa cobrir necessariamente todas as categorias citadas, geralmente as análises são direcionadas para focos específicos, mas todos os riscos citados podem ser avaliados com técnicas de análise de risco. Entretanto, devido à natureza da pesquisa, esta tese se concentra em risco não estratégicos (cenário econômico) e financeiros (risco de mercado), conforme a Figura 2.

Riscos financeiros, mais especificamente risco de mercado estão associados à valores, e normalmente são medidos com base em índices ou carteira. São riscos decorrentes da oscilação de diversas variáveis financeiras, impactando no desempenho dos investimentos, contratos, serviços, mercado de ações, entre outros (LIMA, 2018).

Os riscos financeiros aparecem com maior clareza na atividade empresarial e apresentam uma subclassificação, tais como: risco de mercado, risco de crédito, risco de liquidez, risco operacional e risco legal. Embora eles tenham sido classificados individualmente, na prática, eles podem vir

combinados, isto é, pode haver mais de um tipo de risco em um único investimento. Por exemplo, contratos relacionados ao mercado de capital envolvendo ações.

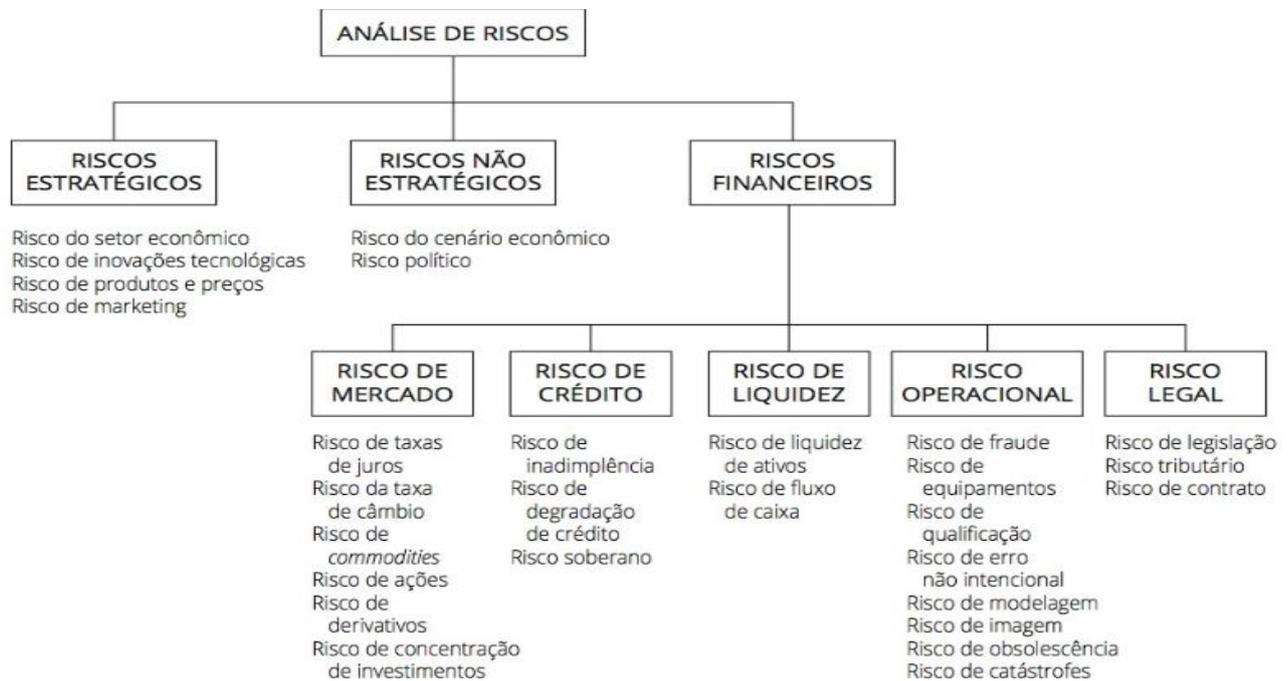


Figura 2. Taxonomia do risco

Fonte: Lima, (2018)

Nessa mesma linha, encontra-se também o risco na contratação de prestação de serviços. Toda organização assume compromissos, seja curto, médio ou longo prazo, e são regidos por contratos de prestação de serviços. O cumprimento dos contratos está atrelado em contratar serviços que garantam à organização o término dos contratos conforme os prazos e valores estipulados. A necessidade primária da organização é de questionar como mitigar o risco antes de efetivamente se tornar um ônus real na contratação de serviços.

Contratar serviços está longe de ser uma tarefa trivial. Para Hubbard (2009), é fundamental criar procedimentos que contemple as etapas necessárias à identificação preventiva de combate aos efeitos nocivos do risco. A contratação de serviços pode ser definida em cinco passos: (i) tomar a decisão sobre uma diversidade de critérios que farão parte da negociação; (ii) definir as preferências dos critérios, bem como os respectivos pesos; (iii) comparar a necessidade da organização com a proposta de serviço; (iv) calcular a utilidade e; (v) o desempenho. Saber por meio da utilidade, qual a medida de risco ou de benefício que uma proposta de serviço representa sobre as demais, para a tomada de decisão. Esses processos podem e devem ser administrados por mecanismos que permitam o emprego do cálculo de heurísticas de utilidades, bem como o seu desempenho.

### 2.3 Teoria da Utilidade Esperada

Essa seção apresenta e justifica o uso da teoria da utilidade na tomada de decisão, na medida em que o modelo de risco visa determinar valores de utilidade para mensurar os pesos dos critérios.

Da ciência econômica, o conceito de utilidade foi apresentado por Daniel Bernoulli, (1954) como uma unidade de medida de preferência. No mesmo período, Bentham também definiu utilidade como: “aquela propriedade em qualquer objeto, pela qual tende a produzir benefício, vantagem, prazer, bem ou infelicidade ou evitar a ocorrência de dano, dor, mal ou infelicidade” (BENTHAM, 1789). Mais tarde a teoria da utilidade foi formalizada por Von Neumann e Morgenstern (1980), posteriormente refinada por Fishburn, (1988) e Keeney e Raiffa, (1993). A teoria da utilidade serve de base para formular a teoria de preferência para escolhas. Nesse processo, estão envolvidos o risco e a incerteza, i.e., “loterias ou jogos com saídas que dependem de um conjunto de eventos mutuamente exclusivos e exaustivos” (DYER, 2005). Nas palavras de Mas-Colell, Whinston e Green (1995 p. 487), “Utilidade é a capacidade que objetos ou serviços possuem em satisfazer uma ou mais necessidades. A análise da sua variação permite explicar o comportamento que resulta das opções tomadas pelos agentes para aumentar a sua satisfação”.

A teoria da utilidade esperada tem sido utilizada como modelo normativo em decisões racionais e descritivas sob o ponto de vista de padrão de comportamento econômico. Nesse contexto, a teoria apoia-se nas escolhas entre alternativas arriscadas, que abrangem situações de incerteza. Simon, (1979) define que o homem racional da economia e da teoria da decisão faz escolhas ótimas em ambiente especificado e definido: (i) quando precisa tomar uma decisão, deve ter diante de si um conjunto de alternativas; (ii) a cada alternativa associa-se um conjunto de consequências e considera certeza, risco e incerteza; (iii) estabelece uma função utilidade ou ordem de referência conforme as consequências são classificadas; (iv) o tomador de decisão deve escolher a alternativa juntamente com as consequências de sua preferência. Se o caso for de risco, a racionalidade consistirá na escolha da alternativa com maior utilidade. A utilidade esperada deve considerar a média ponderada pelas probabilidades de ocorrência, do valor utilidade de todas as possíveis consequências (VON NEUMANN, 1980).

Keeney e Raiffa (1993), com o objetivo de auxiliar em problemas decisórios, estenderam os conceitos da teoria da utilidade, na qual cada alternativa é descrita por uma lista de atributos. Propuseram a construção de uma função matemática, capaz de agregar as informações dos múltiplos atributos de forma que, para cada alternativa, pudesse ser associada uma medida de valor, o que torna possível elaborar ordens de preferências entre alternativas. Assim, definiram uma função de representação de preferência, sob condições de certeza, “função de valor”, e uma função de representação de preferência, sob condições de risco, representado por uma “função de utilidade”.

As funções de utilidades podem ser medidas por axiomas que definem as preferências, tais como: axioma da comparabilidade, transitividade, continuidade e independência (KEENY e RAIFFA, 1993). Esses axiomas auxiliam o decisor a avaliar as alternativas de forma racional e possibilita analisar resultados e consequências de suas escolhas antes de tomar uma decisão arriscada ou que envolvam incertezas. Nesse cenário, o decisor deve ser capaz de escolher, entre as alternativas, aquela que melhor maximize a utilidade esperada (HASTIE e DAWES, 2001). Os pesquisadores Weirich, (1986); Schoemaker, (1993) e Kahnemann (2000), afirmam que em diversas situações o comportamento pode ser violado, pois as pessoas não são racionais o tempo todo e a teoria não consegue prever a atitude das pessoas em situações de incertezas. Esse assunto é abordado com profundidade na Seção 2.7. Alguns pesquisadores relatam, em seus estudos, essas situações de violações, entre eles: Schoemaker, (1992); Xie e Wang, (2003) e Kahneman, (2012).

Partindo do pressuposto da racionalidade descrito pela teoria da utilidade juntamente com os princípios da teoria da perspectiva (Seção 2.7), as funções de preferência são apropriadas a representações financeiras em “unidades de utilidade”. Nessas “unidades”, os valores são medidos em “graus de satisfação”, expressam o perfil do risco do agente tomador de decisão e caracteriza sua preferência entre variações positivas e negativas para cada critério, sob o ponto de vista financeiro. Isso permite que vários cenários sejam analisados e comparados em termos de métrica de risco, na busca do valor esperado da utilidade financeira. Conforme Belton e Stewart, (2002) é possível adotar uma estrutura de decisão com base em escolha, ranking, hierarquização ou portfólio. De acordo com o motivo exposto, essa pesquisa baseia-se no ranking dos pesos das preferências para a tomada de decisão (Capítulo 4 e Capítulo 5).

Para construir um modelo de decisão multicritério, deve-se conhecer os elementos básicos e fundamentais do problema somados a uma boa visão conceitual dos principais métodos de apoio à decisão. Diante dessa exposição, na próxima seção, são apresentados os elementos fundamentais no processo de seleção de um método de decisão.

## **2.4 Método Multicritério de Apoio à Decisão**

Essa seção apresenta, classifica e compara alguns métodos multicritérios de apoio à decisão, utilizado pela teoria da utilidade na Seção 2.3. A classificação e a comparação entre esses métodos de decisão multicritérios servem como definição do método de agregação aditivo mais apropriado para o objeto de estudo utilizado nos experimentos.

Um método de apoio à decisão multicritério representa uma estrutura metodológica ou uma teoria composta por uma formulação axiomática bem nítida, com propósito bem-definido para construir um modelo de decisão que vise à solução de um problema de decisão específico (HO et al., 2010; DE ALMEIDA et al., 2015). É necessário levar em conta diversos pontos de vista, uma vez

que “representam os diferentes eixos ao longo dos quais os diversos atores do processo decisório justificam, transformam e questionam suas preferências” (GHARAKHANI et al., 2014).

A família de critérios deve ser compreendida e admitida por todos os envolvidos no processo decisório, deve-se inclusive considerar a respectiva cultura. A forma de organização dos critérios mais utilizada é a construção de uma hierarquia em forma de árvore, na qual se decompõe cada critério progressivamente e parte do critério mais alto para aqueles de nível mais baixo (Saaty, 1977). A construção de uma família de critérios deve satisfazer a algumas condições técnicas estabelecidas pela organização, para que possa ser adequadamente aplicada como será visto a seguir.

### **Classificação dos métodos multicritérios**

O procedimento para operar com a resolução de problemas de tomada de decisão inclui a escolha de um método apropriado, que atenda a características fundamentais. Há algumas revisões de literatura que abordam esses métodos no contexto decisório multicritério, conforme a natureza do estudo e destacam-se Roy, (1996) e De Almeida et al., (2015):

- (i) método de critério único de síntese: agregam critérios em um único critério de síntese;
- (ii) método de sobreclassificação (*Outranking*): abordam problemas de superação, prevalência ou subordinação; e
- (iii) método interativo: estão associados a problemas discretos ou contínuos.

Os itens (i) e (ii) baseiam-se em modelos aditivos determinísticos e utilizam a teoria da utilidade para o tratamento de problemas multiobjetivo. Pardalos et al., (1995) consideram um quarto grupo, chamado de abordagem de desagregação de preferências. Consiste em fazer uma avaliação global das alternativas, baseando-se nas avaliações do decisor e, em seguida, constroem uma função de avaliação e agregação por critérios. Outros métodos com características específicas são: método de agregação ordinal, método de agregação baseado em informação parcial e método com lógica difusa, descritos por Pedrycz et al., (2011).

Há uma tendência dos decisores escolherem uma estratégia que julgam ser a mais apropriada para cada problema em particular. Simon, (1982) destaca a questão da racionalidade limitada e o uso de heurísticas devido às limitações da mente humana. Nessa visão, há estudos que mostram que os decisores têm uma tendência de adotar uma heurística que melhor represente o problema específico, em geral rápida e simples (GIGERENZER e TODD, 1999).

Entre as estratégias utilizadas, encontram-se: escolha de um critério para comparação de forma aleatória; adoção da última decisão; escolha do critério usado na última decisão; uso de critério mais importante e, no caso de empate, uso do segundo critério mais importante (DE ALMEIDA, 2015). A utilização de heurísticas pode levar a situações inadequadas quando não se usa uma abordagem formal de apoio à decisão, como: eliminar alternativas indevidas e não analisar

algumas alternativas. Simon, (1982) classifica os métodos que trabalham com heurísticas como compensatórios e não compensatórios, descritos a seguir:

a) Racionalidade compensatória – Teoria da Utilidade: a cada alternativa é associado um determinado valor, busca-se uma avaliação global dessa alternativa e todos os critérios devem ser considerados conforme as preferências do decisor. Admitem-se pontuações compensatórias, assumindo que a desvantagem em uma dimensão da avaliação pode ser compensada por uma vantagem em outra dimensão.

b) Racionalidade não compensatória – *Outranking*: não apresenta uma visão integrada e global dos critérios para algumas alternativas. Nesse tipo de abordagem, não é possível compensar uma avaliação negativa com uma positiva. Nesse princípio da incomparabilidade, duas alternativas que tenham a mesma pontuação podem apresentar comportamentos distintos. Essa visão também é compartilhada com De Almeida et al., (2015).

É interessante o apoio de um método formal que utilize heurísticas para tratar o processo decisório para balancear o esforço em tomar a decisão e a precisão desejada no processo (PAYNE et al., 1998). Entre os fatores que influenciam na seleção de um desses métodos formais, encontram-se o tempo disponível; esforço requerido por uma dada abordagem; conhecimento sobre o ambiente; importância de uma decisão mais precisa e segura; necessidade de justificar a decisão para outros e o desejo de minimizar conflitos (WEBER, 2009).

Outro aspecto importante, e não menos preocupante, é a imposição de algum método em função da preferência do ator/analista. A postura dogmática pode comprometer o modelo de decisão conforme o método escolhido. Esse posicionamento deve-se a uma situação, por exemplo, de insegurança do decisor em comparar dois elementos, e o decisor pode assumir uma posição de indiferença, ao invés de atribuir uma condição de incomparabilidade. Há fortes colocações (DE ALMEIDA et al., 2015) na literatura se posicionando contra esse tipo de comportamento. Considerando os métodos expostos e a natureza dessa pesquisa, será empregado aqui o método da racionalidade compensatória e fazem parte os métodos de agregação aditivos, descrito a seguir.

#### **2.4.1 Métodos de agregação aditivos**

Os métodos de agregação aditivos adicionam os critérios em um único critério de síntese. Eles estabelecem uma estrutura axiomática, na qual incluem procedimentos específicos para sua parametrização (DE ALMEIDA et al., 2015). Esse tipo de método destaca-se por vários aspectos, aborda diferentes problemas de priorização, e, em sua maioria, está relacionado ao processo de modelagem de preferências, que se constitui na elicitación de preferências. Assim, a principal diferença entre esses métodos está na forma como a elicitación das constantes de escala é desenvolvida.

Essencialmente, esses métodos utilizam o mesmo tipo de matriz de decisão. O termo  $a_{ij}$  refere-se ao desempenho das alternativas  $i$  segundo os critérios  $j$ . A forma com que um método multicritério trabalha os termos  $a_{ij}$  é o que o diferencia dos demais. Por exemplo, o método ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*) apenas ordena as alternativas e utiliza o princípio da dominância, enquanto que outros métodos apresentam, além da ordenação, o desempenho global das alternativas em função dos critérios considerados (SALOMON et al., 2001). Essa limitação exclui o método ELECTRE nessa análise por não considerar o desempenho global. Mesmo assim, há uma variedade de métodos multicritérios com características peculiares, que fornecem valores de desempenho global das alternativas, já utilizados em várias áreas, com destaque:

- a) AHP – *Analytic Hierarchy Process*: desenvolvido por Saaty, (1980);
- b) FDA – *Fuzzy Decision Approach*: baseia-se em conjuntos *Fuzzy* e foi proposto por Liang e Wang, (1992);
- c) MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*: proposto por Bana e Costa e Vasnick, (1994);
- d) TOPSIS – *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*: o desenvolvimento se deve a Hwang e Yoon, (1981); e
- e) ANP – *Analytic Network Process*: também desenvolvido por Saaty, (1996);
- f) MAUT – *Multi-Attribute Utility Theory*: desenvolvido por Keeney e Raiffa, (1993).

Os métodos foram selecionados para o estudo desta pesquisa, porquê, de alguma forma, contêm em sua estrutura de decisão, certas similaridades e necessitam de uma análise com maior profundidade para classificar o método aditivo mais apropriado.

#### **a) Método AHP – *Analytic Hierarchy Process***

Trata-se de um método multiatributo hierárquico para auxiliar em tomada de decisões complexas na medida em que ele permite resolver problemas a partir de diversos objetivos a serem conjugados simultaneamente (EMROUZNEJAD e MARRA, 2017).

O AHP consiste na construção de hierarquia, análise de prioridade e verificação de consistência (SAATY, 1999). Inicialmente o problema de decisão multicritério é separado em partes componentes e os atributos são organizados em múltiplos níveis hierárquicos com base na experiência e conhecimento do decisor. A seguir é comparado o grupo de atributos do mesmo nível par a par por meio de um teste de consistência.

O primeiro passo, por exemplo, consiste em obter as preferências de um  $c$ . Cada preferência é dada em função de um valor que expressa o quanto  $c$  prefere mais critério  $x$  do que critério  $y$ . A Tabela 1 ilustra um conjunto de preferências, considerando os seguintes critérios de interesse: preço,

quantidade, prazo de entrega, prazo de pagamento. Deve-se ler a primeira linha de tal tabela 1 da seguinte forma:  $c$  prefere o critério preço 3 vezes mais que quantidade, o critério preço 2 vezes mais que prazo de entrega, o critério preço 2 vezes mais que prazo de pagamento. Deve ler a primeira coluna da seguinte forma:  $c$  prefere 3 vezes menos o critério quantidade que preço, o critério prazo de entrega 2 vezes menos que preço, o critério prazo de pagamento 2 vezes menos que preço. A primeira coluna é o recíproco da primeira linha.

Tabela 1. Preferências e recíprocos

	A	B	C	D
A	1	3	2	2
B	1/3	1	1	2
C	1/2	1/1	1	3
D	1/2	1/2	1/3	1

**Legenda:**

A: Preço

B: Quantidade

C: Prazo de entrega

D: Prazo de pagamento

Para garantir que os julgamentos sejam consistentes, a operação final chamada de verificação de consistência, que é considerada uma das maiores vantagens do AHP, é incorporada para medir o grau de consistência entre as comparações *par a par* e calcula a taxa de consistência. Se for encontrado um índice de consistência que exceda o limite de 10% deve-se revisar as comparações *par a par*, pois a matriz de preferências ficou descompensada, i.e., a consistência entre os elementos comparados é fraca. Uma vez que todas as comparações em pares são realizadas em todos os níveis, e provou serem consistentes, os julgamentos podem então ser sintetizados para descobrir o *ranking* de prioridade de cada critério e seus atributos. O procedimento geral do AHP é mostrado na Figura 3.

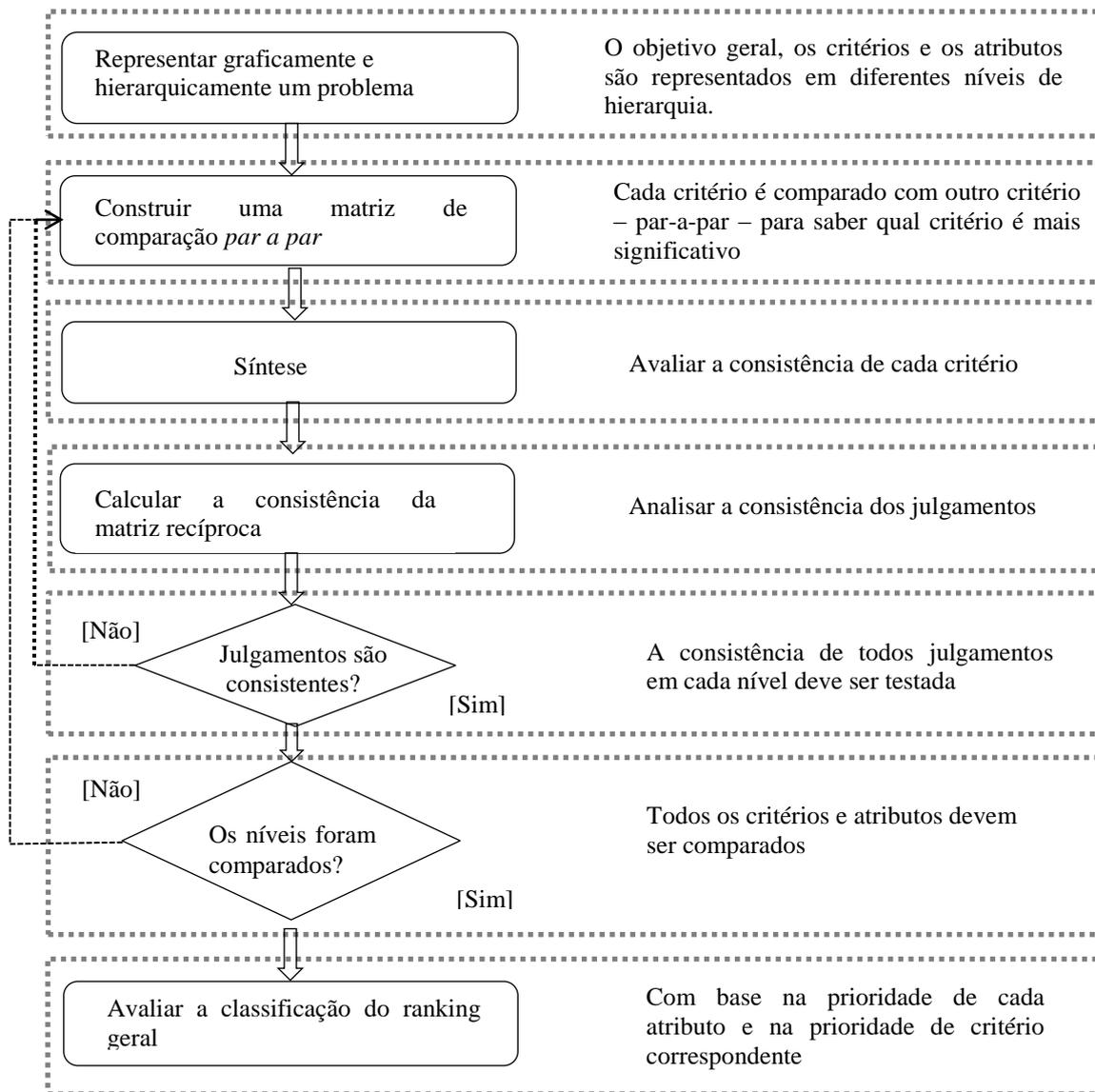


Figura 3 Estrutura do método AHP

Fonte: Adaptado Saaty (1996).

A estrutura matemática que envolve o método AHP com a definição dos julgamentos, o cálculo do índice de coerência e a razão de coerência são mostrados no Capítulo 4, Seção 4.2. Entretanto, é importante considerar os aspectos negativos e positivos que o método apresenta, descritos a seguir.

### Aspectos positivos e negativos do AHP

Para Chwolka e Raith (1999), a vantagem do método AHP é que ele requer, por parte do decisor, somente comparações entre pares de alternativas. Na visão de Boritz (1992), a capacidade de medir o grau de inconsistência presente nos julgamentos par a par é um dos pontos mais fortes do AHP. Com isso, é possível assegurar que somente ordenamentos justificáveis sejam utilizados nas avaliações. Por outro lado, Bana et al., (2001) e Dodgson et al., (2001) levantaram dúvidas sobre o AHP, e

Ishizaka (2011), Steiguer et al., (2005), apresentaram várias críticas ao método e destacam os principais aspectos positivos e negativos descritos a seguir:

- Entre os aspectos positivos, destacam: (i) simplicidade; (ii) clareza; (iii) facilidade de uso; (iv) permite a interação entre as partes envolvidas para o mesmo entendimento; (v) habilidade de manusear julgamentos inconsistentes; (vi) a representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças nas prioridades nos níveis mais altos afetam os níveis mais baixos; (vii) a forma de agregação dessas variáveis exige que o tomador de decisão participe ativamente no processo de estruturação e avaliação do problema, pois contribui para tornar os resultados propostos pelo modelo exequíveis; (viii) a estruturação hierárquica permite ao decisor ordenar e comparar os critérios no próprio contexto; (ix) sintetiza os resultados em uma lista ordenada, permitindo a comparação de prioridades e importância relativa de cada fator; e, (x) provê pesos numéricos para julgamentos subjetivos de alternativas quantitativas e/ou qualitativas.
- Entre os aspectos negativos enfatizam: (i) a subjetividade pode levar a interpretações erradas dos critérios; (ii) a necessidade de análise minuciosa para identificar e caracterizar propriedades dos níveis da hierarquia que afetam o desempenho do objetivo mais alto; (iii) é necessário um consenso na priorização dos níveis mais altos da hierarquia; (iv) os critérios representados devem ser independentes ou, pelo menos, suficientemente diferentes; (v) em cada nível, deve-se tomar cuidado com os idealismos pelos envolvidos nos processos; (vi) é necessário ajustar a razão de coerência para obter os pesos apropriados; (vii) a introdução de novos atributos pode mudar a posição relativa de alguns critérios originais; (viii) o número de comparações requeridas conforme a quantidade de critérios pode se tornar complexo por não existir nenhuma base teórica para a formação das hierarquias.

É interessante notar que alguns aspectos do método AHP são vistos como ponto positivo ou negativo. Nesse caso depende do ponto de vista de como quer se enxergar. Por exemplo, os tomadores de decisão, quando se deparam com situações idênticas de decisão, podem derivar hierarquias diferentes, obtendo então diferentes soluções. Para alguns críticos esse aspecto é negativo e para outros as técnicas de *brainstorming* são extremamente positivas. Alguns pesquisadores ainda são mais rigorosos e argumentam que o método necessita de um fundamento em termos de teoria estatística, enquanto outros pesquisadores combinam o AHP com técnicas de estatísticas como Millet, (1990; 2002).

Dada a relevância do método, vários estudos foram realizados para sua evolução, por exemplo:

- (i) reversão de ordem: para tal, foram desenvolvidas variações, a primeira proposta é conhecida como: multiplicativo, referenciado e B-G (MALEKI e ZAHIR, 2012);

- (ii) interpretação para os pesos dos critérios para representar a importância relativa (OZTURK et al., 2017);
- (iii) uso da escala de razão para os julgamentos: inclui a existência do zero absoluto (FRANEK e KRESTA, 2014);
- (iv) otimização da razão de consistência quando a razão de coerência é maior que 10%. Entre as soluções, destaca-se a proposta da aplicação de algoritmos genéticos (cf. Capítulo 5), (SUN et al., 2011; COSTA, 2011); e
- (v) interpretação numérica da escala verbal utilizada na *elicitação* (LESKINEN, 2008).

Em síntese, as decisões sobre preferências e pesos dependem de decisão humana e, portanto, estão sujeitas a erros dos decisores quanto à interpretação dos critérios, idealismos, decisões convencionais, falta de experiência entre outros. Porém, a estrutura axiomática e matemática do método é consistente, versátil e flexível. Considerando as críticas quanto a sua utilização, o AHP pode representar um diferencial competitivo, além de estimular a interação entre organizações de diversas áreas envolvidas na estratégia de gestão, o que torna o modelo desenvolvido mais sólido e completo. Além disso, pode se tornar uma ferramenta poderosa e consistente no monitoramento do risco.

### **AHP e outros métodos aditivos**

A partir daqui expõe-se resumidamente os principais métodos de agregação aditivos e busca-se compará-los com o intuito de definir o método mais apropriado com o objeto dessa pesquisa. A análise inclui também a teoria dos conjuntos *fuzzy*. Como esse método investiga questões cognitivas, ele tem sido utilizado em vários tipos de aplicações que abordam decisões multicritérios.

#### **b) Método FAHP – Fuzzy Analytical Hierarchy Process**

Quando o contexto exige determinados termos linguísticos, algumas técnicas multicritério têm utilizado a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* de forma conjunta. Tais técnicas são denominadas genericamente como “*abordagens fuzzy*” (SUPRAJA e KOUSALYA, 2016). Elas descrevem números *fuzzy* para representar as preferências dos especialistas e calculam as pontuações das alternativas muitas vezes semelhantes aos originais de cada método, porém foram adaptadas para executar operações algébricas *fuzzy*. Atribui-se aos métodos multicritérios tradicionais o tratamento de incertezas. Acredita-se que a inclusão da teoria dos conjuntos *fuzzy* a tais métodos possa ser agregada o universo discreto ou contínuo, pois permite a quantificação de imprecisão associada a uma dada informação (TURKSEN, 2009).

O método FAHP utiliza números *fuzzy* triangulares (limite inferior, valor modal, limite superior) para comparação aos pares por meio de uma escala do próprio método. Ele emprega o método de análise de medida para obter os pesos prioritários e utiliza valores de extensão sintéticos. A inclusão de números *fuzzy* possibilita representar matematicamente valores linguísticos de variáveis (ZADEH, 1973). As variáveis linguísticas *fuzzy* permitem distinguir qualificações por meio de faixas de graduações. Assim, é necessário definir um conjunto de termos linguísticos que permita mensurar seus valores de forma adequada. Esses termos linguísticos são representados por números *fuzzy* triangulares e trapezoidais.

Gothb e Warren, (1995) assumem que contextos que utilizam escalas numéricas e utilizam FAHP não apresentam uma evidência empírica afirmando que um método se sobressai ao outro. Essa mesma posição é assumida por (CHAN e KUMAR, 2007), (CHATTERJEE e MUKHERJEE, 2013). Outros trabalhos que comparam a eficiência dos métodos AHP e FAHP estão relacionados em Ozdagoglu e Ozdagoglu, (2007); Zhang, (2010); Supraja e Kousalya, (2016) e Emrouznejad e Marra, (2017).

### ***c) Método MACBETH – Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique***

Embora o MACBETH apresente semelhanças com o AHP, há grandes diferenças na forma com que as fases são conduzidas (SCHMIDT, 1995). No MACBETH, os julgamentos são de natureza qualitativa sobre diferenças de atratividade entre dois elementos de cada vez, a fim de gerar pontuações numéricas para as opções em cada critério e para os pesos dos critérios. Com uma escala semântica de sete níveis entre opções – denominados de ponto de vista. Na fase de avaliação, como no AHP, os julgamentos entre as alternativas acontecem aos pares, utilizando-se matrizes. As principais diferenças são notadas nas escalas numéricas, nos julgamentos, na validação, na verificação da coerência teórica, na coerência semântica, além da consistência. Na matriz de julgamentos, os valores de “diferença de atratividade” devem aumentar da esquerda para a direita e de baixo para cima, devido a uma necessária ordenação antes dos julgamentos, permitindo a verificação visual da consistência.

Os trabalhos de Perdigão et al., (2012), Ishizaka e Nemery, (2012) e Rietkötter, (2014) comparam as diferenças entre esses métodos e atribuem aspectos positivos e negativos. Resumidamente, MACBETH verifica o grau de atratividade de um ponto de vista ou critério. O AHP trabalha com uma escala de prioridade ou de importância, e considera o zero como sendo neutro; no MACBETH, o zero equivale a nulo, sem atratividade – representa a repulsividade de uma opção.

Outros trabalhos relacionados à AHP e MACBETH encontram-se em: Garuti et al., (2008); Ishizaka e Labib, (2011) e Salomon et al., (2013).

#### **d) Método TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution**

O método TOPSIS baseia-se em duas premissas: na primeira, a alternativa escolhida deve ter a distância geométrica mais curta a partir da solução ideal positiva; a segunda premissa define a distância mais longa geométrica a partir da solução ideal negativa. TOPSIS compara um conjunto de alternativas por meio da identificação de pesos para cada critério, normaliza as pontuações para cada um dos critérios e efetua o cálculo da distância geométrica entre cada alternativa e a alternativa ideal e identifica a melhor pontuação em cada critério. Utiliza a normalização porquê os critérios podem encontrar-se em dimensões diferentes. Esse método permite a compensação entre critérios. A ocorrência de um mau resultado de um critério pode ser negada por outro de bom resultado. Isso proporciona uma forma mais realista de modelagem ao invés de método não compensatório, que inclui ou exclui uma solução alternativa com base em ponto de corte (SARUL e EREN, 2016).

Os métodos AHP e TOPSIS foram comparados por Santana (1996). O trabalho aborda o tema sobre localização industrial e as alternativas eram as cidades de Joinville, Blumenau e Imbituba. O resultado considerou o método AHP mais robusto, por assegurar a análise da consistência de julgamentos. TOPSIS foi considerado um método formal mais simples. No geral, os métodos tratam de forma quantitativa o conjunto de variáveis qualitativas e constitui uma vantagem sobre métodos que necessitam transformar valores monetários.

Outras comparações podem ser encontradas em Zanakis et al., (1998); Triantaphyllou, (2000); Locatelli e Mancini, (2012); Supçiller e Çapraz, (2011); Tyagia e Kumar, (2014); Supraja e Kousalya, (2016), entre outros.

#### **e) Método ANP – Analytic Network Process**

O ANP possibilita julgar e medir escalas proporcionais de prioridades para a distribuição de influência entre fatores e grupos de fatores na decisão. Ele permite também a alocação de recursos conforme as escalas proporcionais de prioridades. Enquanto o AHP utiliza um cenário e depende do julgamento de valores dos indivíduos e grupos, o ANP permite a construção de diversos cenários para problemas complexos de decisão (SALOMON e MONTEVECHI, 1997).

A estrutura ANP tem dois níveis: o primeiro nível controla a hierarquia ou rede de objetivos e as interações no sistema. No segundo nível, as sub-redes controlam a influência dos elementos entre os agrupamentos do problema por meio de pesos específicos para cada um dos critérios, os quais são comparados par a par (FALSINI et al., 2012). A estrutura do ANP é mais utilizada como uma generalização do AHP. Enquanto o método AHP tem um conceito de dominância de um nível sobre o outro, no ANP podem existir ciclos fechados em que os níveis não se identificam tanto com os termos da estrutura de rede. Esse contexto pode trazer outra dimensão e visão na estruturação de

problemas complexos (SAATY, 2008). Embora o método ANP não exija independência entre os elementos, dependendo do caso, a interdependência pode ser um requisito essencial para a tomada de decisão. Em síntese, quando se considera os elementos de forma independente, utiliza-se o AHP, caso contrário, quando acontece a interdependência entre os seus elementos, é aconselhável utilizar o método ANP.

Hernández et al., (2010) utilizaram o AHP e o ANP para avaliar a relação entre a logística reversa e o desempenho empresarial no setor automotivo. Os resultados indicam o método AHP como mais eficiente. Ele requer um número menor de julgamentos, enquanto o ANP é mais compatível com a realidade do setor automobilístico, pois considera a dependência entre os elementos na tomada de decisão.

Outros trabalhos que comparam AHP e ANP são: Agarwal e Shankar, (2002); Sarkis e Talluri, (2004); Chen e Wu, (2010); Larrodê et al., (2012); Salgado et al., (2012); Bhagwat e Sharma, (2013) e Rezaei e Ortt, (2013).

#### **f) Método MAUT – Multi-Attribute Utility Theory**

A Teoria da Utilidade Multiatributo deriva da Teoria da Utilidade e Teoria da Decisão (KEENEY e RAIFFA, 1976). MAUT é aplicado em problemas discretos, embora permita a solução de problemas com um conjunto de ações discretas ou contínuas. Como teoria, há em MAUT uma estrutura sólida e consistente para decisão multicritério e, como consequência, fortes restrições para aplicação. Essa classificação mais restrita permite a alguns trabalhos utilizar a estrutura de MAUT no apoio à estruturação das preferências, inclusive do AHP.

Gass (2005), comparou os métodos AHP e MAUT. Questionou a viabilidade da base axiomática do MAUT com base nos trabalhos de Ellsberg, (1961); Kahneman e Tiversky, (1979) e Keller, (1992). Gass considera que o método AHP não é uma extensão do MAUT porque não adere aos seus axiomas. Ele concorda com Keeney (1992), quando as pessoas fazem escolhas e tomam decisões, esperam estar fazendo o certo. Esse objetivo faz parte tanto do MAUT como do AHP. Defende que há várias aplicações bem-sucedidas com AHP como em: Golden et al., (2003); Saaty e Vargas, (2000) e Forman e Gass, (2001).

Outros trabalhos relacionados à MAUT e AHP: Freitas et al., (2013); Swason, (2015); Macharis e Bernardini, (2015); Sarul e Eren, (2016) entre outros.

## 2.4.2 Considerações sobre o método da pesquisa

Nesta seção, foram apresentados e comparados os principais métodos de agregação aditivos. Esses métodos na maioria das vezes são considerados similares. Entretanto, o que leva à escolha do método é o tipo de estudo e o ambiente de aplicação.

O contexto desta pesquisa acontece em ambiente financeiro e considera os critérios de análise do decisor (preferências) independentes. Nessa área os critérios destacam-se por serem numéricos. A tomada de decisão requer assumir riscos financeiros e impacta em retorno positivo ou negativo. Nesse sentido, quanto mais exato for o posicionamento do decisor, melhores serão as informações para a tomada de decisão em um ambiente econômico. No dia a dia do decisor que opera com variáveis importantes numéricas e/ou monetárias, dada à importância do contexto, é mais significativo atribuir uma nota de preferência numérica a um critério, do que atribuir termos linguísticos. Diante dos motivos expostos, considerando os pontos positivos e negativos, o método AHP mostrou-se mais adequado a esta pesquisa.

Como o problema da pesquisa abrange um conjunto de critérios de forma a convergir para uma decisão global, essa pesquisa deve atender a esses requisitos por meio de um modelo multicritério como será visto a seguir.

## 2.5 Estrutura de um Modelo Multicritério

Para construir a estrutura de um modelo de decisão multicritério, o analista deve conhecer os elementos básicos e fundamentais do problema somados a uma boa visão conceitual dos principais métodos de apoio à decisão (DE ALMEIDA et al., (2015). Nesse cenário, três perspectivas se destacam: descritiva, normativa, prescritiva (EDWARDS et al., 2007). Tal análise em decisões multicritério, considera também uma quarta perspectiva denominada de construtivista. Esse trabalho se limita à abordagem normativa que se caracteriza por modelos construídos com base em uma estrutura axiomática e procura garantir uma lógica para o processo decisório. Podem ser formulados diferentes modelos normativos, com algumas definições (axiomáticas) para racionalidade. Um exemplo clássico de uma dessas racionalidades é fornecido pela teoria da utilidade de Von Neuman e Morgenstern, (1980). Em linhas gerais, a utilidade resulta das opções de cada agente aumentar a sua satisfação na tomada de decisão.

### **Estrutura de decisão normativa**

Uma condição básica para a existência de um problema de decisão normativa é a ocorrência de pelo menos duas alternativas para que um tomador de decisão possa efetuar uma escolha.

Um problema de decisão tem um conjunto de alternativas, para o qual um tomador de decisão deseja efetuar uma comparação e ter uma posição sobre elas. O conjunto de alternativas pode ser contínuo. Porém, nessa tese, assume-se que o conjunto de alternativas é discreto representado por:  $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ . Isso significa que cada alternativa  $a_i$  representa um curso de ação disponível no conjunto de  $n$  possíveis alternativas disponíveis para implementação pelo tomador de decisão (DE ALMEIDA et al., 2015).

Quando o decisor define o posicionamento sobre as alternativas de  $A$ , está se referindo a uma avaliação de acordo com as suas problemáticas. O problema é classificado conforme a visão do tomador de decisão e representa uma posição comparativa sobre o conjunto de alternativas  $a$  que ele deseja obter. Na realidade, o objetivo é resolver um determinado problema. Roy, (1996) identificou quatro tipos de problemas:

- *Problemática de seleção ( $P\alpha$ )*: Seleciona a melhor alternativa ou subconjunto de alternativas  $A'$  dentro de um conjunto  $A$ .
- *Problemática de classificação ( $P\beta$ )*: Sua função é alocar cada ação conforme uma classe ou categoria. As alternativas são classificadas de acordo com normas estabelecidas e o resultado do processo está na organização ou triagem das ações.
- *Problemática de hierarquia ( $P\gamma$ )*: Ordena as ações e define um subconjunto de  $A$  conforme uma hierarquia, i.e, estabelece uma ordem para cada ação contida nesse subconjunto.
- *Problemática descritiva ( $P\delta$ )*: descreve e relata as consequências das ações do conjunto  $A$ . As ações são organizadas com todas as informações necessárias para o decisor compreender melhor as características de cada ação.

Em alguns casos é possível fazer uso de mais de uma problemática simultaneamente. Por exemplo, é possível obter a problemática  $P\gamma$  para resolver problemas do tipo  $P\alpha$  ou  $P\beta$ .

A estrutura dos elementos que compõem o processo de decisão constitui-se por: atores, agentes de decisão e analista(s). Além destes, têm-se os componentes, compostos por: alternativas, critérios, escalas e matriz de avaliação. A estrutura de julgamento utilizada pelo modelo normativo encontra-se no Capítulo 4, Seção 4.2.2.

Com base nos pressupostos descritos, o comportamento do decisor geralmente define e prioriza determinado tipo de objetivo e conseqüentemente o risco. A análise de sensibilidade auxilia o decisor a avaliar a solução encontrada conforme exposto a seguir.

## 2.6 Análise de Sensibilidade

Esse procedimento avalia as mudanças nas alternativas ou resultados obtidos pela hierarquia. A análise busca identificar a velocidade com que uma solução se degrada a um nível predeterminado (GOMES et al., 2002). Esse tipo de análise pode identificar:

- Estabilidade fraca se, após a análise de sensibilidade, a melhor solução permanece dentro do conjunto de soluções não dominadas;
- Estabilidade forte se, após a análise de sensibilidade, o conjunto de soluções não dominadas não se altera.

A Figura 4 mostra os pesos dos critérios do  $c$  e dos  $P$ . Quando os valores dos critérios se aproximam do centro do diagrama, eles apresentam um desempenho menor do que o desempenho exigido pelo  $c$ , obtendo assim uma estabilidade fraca. Quando os valores dos critérios dos  $P$  são melhores que os valores dos critérios do  $c$ , eles são conhecidos como soluções dominadas, por representar os melhores critérios determinados pelos critérios do  $c$  (ESPEJO e GALVÃO, 2004).

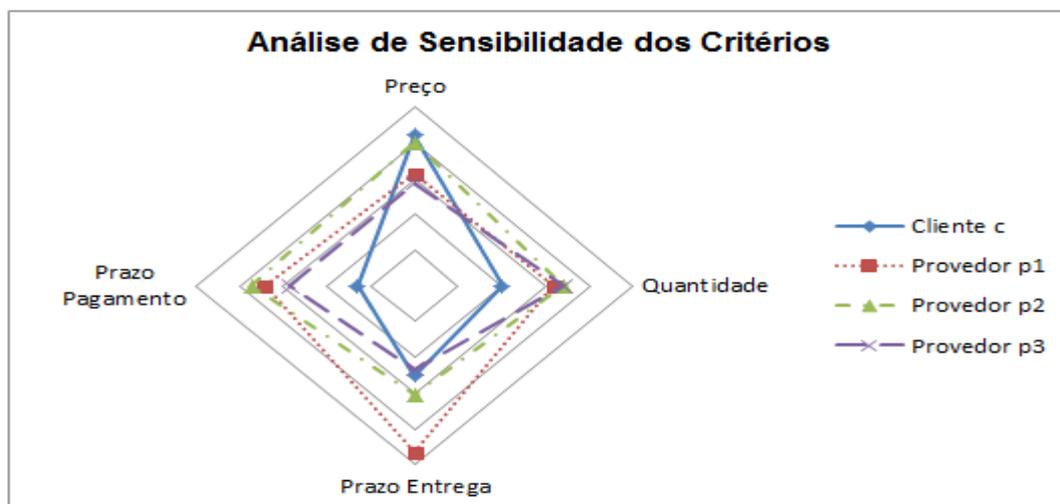


Figura 4. Análise do desempenho dos critérios pelo agente cliente

Fonte: O autor, (2018).

Baltar e Cordeiro, (1998) defendem a necessidade de que a análise das alternativas deve ser organizada e interpretada de forma a fornecer indicadores de sensibilidade ou estabilidade da solução proposta.

Assim como a análise de sensibilidade permite avaliar o desempenho das alternativas no momento da escolha dos critérios, a teoria das perspectivas auxilia o decisor a avaliar a racionalidade das suas decisões. Essas questões serão abordadas na próxima seção.

## 2.7 Teoria das Perspectivas

Essa seção reúne elementos importantes para a tomada de decisão, tais como: a teoria da utilidade e a teoria das perspectivas. A teoria das perspectivas também é conhecida como teoria dos prospectos. Aqui, optou-se pela terminologia teoria das perspectivas a critério de padronização. Essas duas teorias aliadas ao método AHP e o modelo multicritério compõem a estrutura inicial desse estudo.

As decisões nas organizações envolvem interesses e dificuldades diferentes com certas especificidades. Pode haver o interesse de grupos de pessoas, informações limitadas ou problemas que podem ser gerados pela decisão adotada. Clemen, (1995) argumenta a necessidade do decisor considerar na problemática (cf. seção 2.4.1) quatro fatores na tomada de decisão: i) complexidade da decisão; ii) incertezas inerentes à situação da decisão; iii) pode confrontar-se com a possibilidade de negociar o benefício de uma área pelo custo de outra; e iv) perspectivas diferentes podem levar o decisor, com base em mínimas mudanças, a diferentes escolhas. Dessa maneira, a decisão entre duas ou mais alternativas, e mesmo quando se opta por não escolher nenhuma delas, também é uma forma de decisão. Nesse contexto, o decisor procura por soluções que resolvam seus problemas considerando os valores e os objetivos adequados para a resolução deles. Outra questão não menos importante é o posicionamento (ponto de equilíbrio) do decisor em relação ao risco, como o decisor avalia suas perdas e ganhos.

### 2.7.1 Teoria das perspectivas e o ponto de equilíbrio

A teoria das perspectivas é uma crítica à teoria da utilidade esperada, feita por Daniel Kahneman (Prêmio Nobel de Economia em 2002) e Amos Tversky (em 1979, no campo das Finanças Comportamentais). Embora esse campo seja relativamente novo, apresenta como base teórica elementos de economia, finanças e psicologia cognitiva, com interesse em identificar supostas irracionalidades dos agentes econômicos, indo de encontro à teoria da utilidade esperada.

A teoria das perspectivas refere-se à variável que está faltando: o ponto de referência, o estado anterior relativo à quais ganhos e perdas são avaliados. Na teoria da utilidade (cf. Seção 2.3), a preocupação é com o estado de riqueza para determinar a utilidade, isto é, assume que a avaliação das perspectivas para a tomada de decisões utiliza apenas o estado final da riqueza do indivíduo. A teoria da perspectiva assume que o estímulo para aceitar ou rejeitar uma perspectiva, depende do nível de riqueza utilizado como ponto de referência. Ela é mais complexa do que a teoria da utilidade.

Na visão de Kahneman (2012), as pessoas reagem de maneira diferenciada quando submetidas a condições de ganhos ou de perdas – de mesmo valor – no mercado de ativos de risco (ações) quando realizam suas estratégias de investimento. Essa situação mostra um viés

comportamental não linear e tampouco apresenta coerência. Esse comportamento desempenha papel essencial na avaliação de riscos, com resultados financeiros e são comuns a diversos processos automáticos de percepção, juízo e emoção.

A avaliação é consonante a um ponto de referência neutro, ao qual às vezes se refere como “nível de adaptação”. O ponto de referência para cada agente é “único”, como a teoria da *justa medida* de Aristóteles, ao qual conhecendo os extremos, encontra-se a medida mais adequada às suas necessidades:

Em tudo que é contínuo e divisível pode-se tomar mais, menos ou uma quantidade igual, e isso quer em termos da própria coisa, quer relativamente a nós; e o igual é um meio-termo entre o excesso e a falta. Por meio-termo no objeto entendo aquilo que é equidistante de ambos os extremos, e que é um só e o mesmo para todos os homens; e por meio-termo relativamente a nós, o que não é nem demasiado nem demasiadamente pouco – e este não é um só e o mesmo para todos. Por exemplo, se dez é demais e dois é pouco, seis é o meio-termo, considerado em função do objeto, porquê excede e é excedido por uma quantidade igual; esse número é intermediário de acordo com uma proporção aritmética. Mas o meio-termo relativamente a nós não deve ser considerado assim: se dez libras é demais para uma determinada pessoa comer e duas libras é demasiadamente pouco, não se segue daí que o treinador prescreverá seis libras; porquê isso também é, talvez, demasiado para a pessoa que deve comê-lo, ou demasiadamente pouco – para Milo e demasiado para o atleta principiante (ARISTÓTELES, 1991, p. 37).

O meio termo para o ser humano é diferente de uma medida aritmética, porquê entram em análise os processos cognitivos e parte do princípio de que cada ser humano é “único”, então, cada um dos agentes tem uma justa medida para suas necessidades. Para resultados financeiros, o ponto de referência usual é o *status quo*, o qual pode ser visto, por exemplo, nas negociações trabalhistas ou contratos de serviços. Os termos existentes definem os pontos de referência, e uma mudança proposta em qualquer aspecto do acordo é vista como uma concessão que um lado faz ao outro. A aversão à perda cria uma simetria *negativa* para o outro lado. As concessões referem-se aos ganhos, portanto, acaba em perdas, causa muito mais dor do que satisfação (KAHNEMAN, 2012). O objetivo é estabelecer um ponto de referência entre as partes envolvidas, e, nesse caso, uma concessão que é apresentada como dolorosa pede outra concessão igualmente dolorosa da outra parte. Em negociações financeiras, também pode ser o resultado esperado ou o resultado de direito. Nesses casos, resultados melhores do que os pontos de referência podem ser vistos como ganhos e abaixo do ponto de referência eles são perdas.

Kahneman e Tversky, (2000) definiram três princípios que podem ser observados na Figura 5. Há duas partes distintas, à direita e à esquerda de um ponto de referência neutro. A forma em S destaca-se, representando sensibilidade decrescente tanto para ganho como para perdas, e as curvas não são simétricas. Nota-se que a curva no domínio dos ganhos é côncava, a exemplo do que acontece com a função de valor da teoria da utilidade esperada, porém a inclinação muda abruptamente no ponto de referência para convexa: a reação às perdas é mais forte do que a reação aos ganhos correspondentes. Esse conceito é caracterizado como *efeito reflexão*, com a tendência de

aversão ao risco no domínio dos ganhos e predisposição ao risco no domínio das perdas, com maior valorização das perdas, isto é, mais acentuado, em relação aos ganhos.

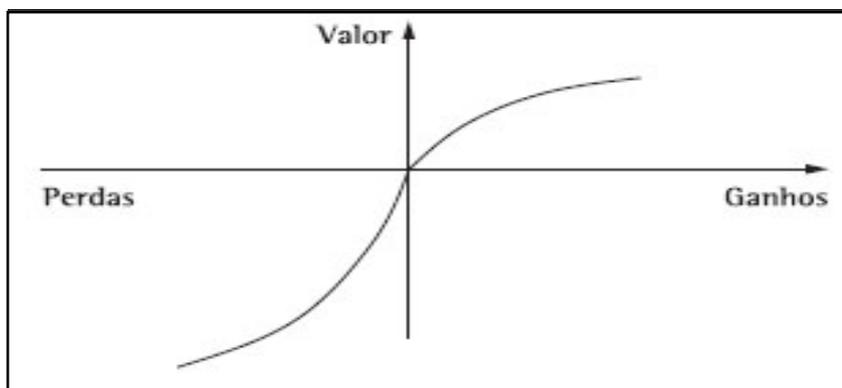


Figura 5. Função hipotética de valor da Teoria da Perspectiva  
Fonte: Kahneman (2012, p. 301)

A aversão à perda e a utilização de um ponto de referência em nossas escolhas remetem a outro fenômeno conhecido como efeito dotação (*endowment effect*), desenvolvido por Thaler (1980), dando ênfase à economia comportamental. Ele demonstrou que não há simetria entre os preços de venda e de compra. De forma inconsistente a uma análise racional tende-se a sobrevalorizar determinado bem que se possui, fazendo com que haja discrepâncias entre o valor que se atribui por ocasião de sua compra e de sua venda. De forma concomitante Kahneman (2012), argumenta: “Quando for mais doloroso abrir mão de um bem do que é prazeroso obtê-lo, os preços de compra serão significativamente mais baixos do que preços de venda”.

Em diversas situações que abrangem problemas complexos, por exemplo, contratos de serviços e mercado de ações, as decisões são pautadas na análise de um conjunto de variáveis e convergem para um valor global. Nesse caso, procura-se realizar análises individuais, na medida em que as questões são apresentadas, caracterizando o efeito isolamento na teoria da perspectiva. Macedo e Morais, (2011) argumentam: “as pessoas geralmente descartam componentes que são compartilhados por todas as probabilidades em consideração”. Rogers et al., (2007), nesse mesmo viés, assinalam que “para simplificar o processo de decisão o decisor pode desconsiderar boa parte das características de cada uma das opções de escolha e centralizar sua análise sobre os componentes que distinguem as opções de escolha”.

O efeito enquadramento manifesta-se ao adotar a não linearidade de uma função hipotética de valor (teoria da perspectiva), com a circunstância em que as decisões se apoiam em um ponto de preferência. Em outras palavras, para o mesmo problema, podem ser adotadas diferentes escolhas e pode resultar em diferentes formulações ou enquadramento, representado por:

- (i) *aversão ao risco*: encontra-se no terreno dos ganhos e indica aumento decrescente de satisfação/valor, conforme os ganhos aumentam. O cálculo matemático gera uma função

côncava. Na Figura 6, os ganhos são evidenciados pela parte superior do triângulo (cálculo da utilidade do benefício), enquanto as perdas referem-se à parte inferior do triângulo (risco). É caracterizada também uma decisão em que o agente é avesso ao risco por ser mais sensível às perdas do que ao lucro. No exemplo, o ponto de referência inicial é descrito pelo valor médio ( $V_m$ ). A variação positiva de uma “decisão” corresponde a  $V_m + d$  e uma variação negativa é caracterizada por  $V_m - d$  ao redor do ponto de referência  $V_m$ . No caso de uma variação negativa de  $V_m - d$  ao redor de  $V_m$ , o ganho da utilidade é menor que o decréscimo da utilidade, em consoante aos módulos  $Y$  e  $W$ . Assim, o módulo  $Y \leq W$ , conforme demonstrado na figura 6. A partir de  $V_m$  em direção a  $V_m - d$  a curva decresce ao longo do domínio da função e à medida que se avança de  $V_m$  em direção a  $V_m + d$ , o benefício marginal da utilidade decresce de forma monótona.

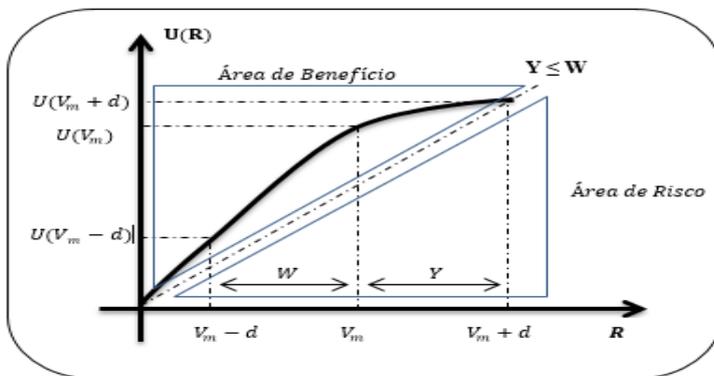


Figura 6. Curva de utilidade de aversão ao risco

Fonte: O autor, (2018)

(ii) *neutralidade ao risco*: essa condição acontece quando o agente opta por ser indiferente entre o cenário de ganho e perda, isto é, o agente é indiferente à utilidade  $U(R)$  no mesmo nível do valor de retorno certo ( $R$ ). Na Figura 7 a utilidade é linear, visto que a utilidade de retorno esperado é igual à utilidade esperada do retorno. Sob outro ponto de vista, a primeira derivada se comporta de forma constante ao longo do domínio entre variações positivas e negativas relacionado aos módulos  $Y$  e  $W$ , possibilitando alternância parecidas (em módulo) de utilidade, isto é,  $Y = W$ .

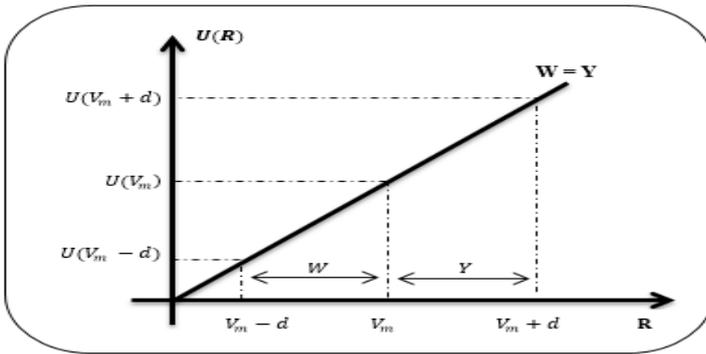


Figura 7. Curva de utilidade de indiferença (neutralidade) ao risco  
Fonte: O autor, (2018)

(iii) *propenso ao risco*: o cálculo matemático gera uma curva convexa encontrando-se mais inclinada no terreno das perdas e indica que as pessoas sofrem desconforto crescente ao enfrentar perdas. Em questões financeiras, as opções são *mistas*, i.e., ao mesmo tempo em que há o risco de perda, há também a oportunidade de ganho. Na Figura 8 o agente credita mais “valor” a variações positivas  $U(V_m + d)$  do que variações negativas de mesma magnitude  $U(V_m - d)$ . Nesse caso, a primeira derivada aumenta à medida que a renda cresce. Assim,  $Y \geq W$ .

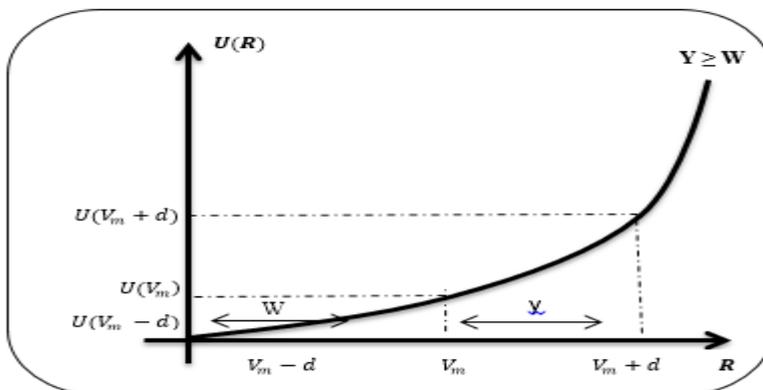


Figura 8. Curva de utilidade de propensão ao risco  
Fonte: O autor, (2018)

As definições de Kahneman e Tversky, (2000) contribuíram significativamente para a complementação da teoria da utilidade, porém não na sua totalidade. A teoria da perspectiva também apresenta lacunas, como será visto na próxima seção.

### 2.7.2 Questões críticas à teoria da utilidade e a teoria da perspectiva

O homem racional, quando enfrenta situações de certeza, apresenta bom senso (HART E HOLMSTROM, 2016). Nos demais casos, quando envolve risco e incerteza, encontra-se pouca concordância. Uma segunda dificuldade é que a escolha de um modelo racional envolve três

condições básicas. Pressupõe-se que: (i) todas as alternativas de escolha sejam dadas; (ii) que todas as consequências seja conhecidas; (iii) que o homem racional tenha uma completa classificação por ordem de utilidade das consequências. A não ser que seja um modelo normativo – um modelo que diga às pessoas como devem escolher os critérios. Sem este auxílio, uma escolha feita nessas condições tem a tendência de ser subjetivamente racional e não objetivamente racional (SIMON, 1979).

A teoria da perspectiva crítica o modelo racional e a teoria da utilidade esperada. Porém ela também tem pontos cegos:

O fracasso da racionalidade que está incorporado à teoria da perspectiva é muitas vezes irrelevante para as previsões da teoria econômica, que funciona com grande precisão em algumas situações e fornece boas aproximações em muitas outras. Em alguns contextos, porém, a diferença se torna significativa: os Humanos descritos pela teoria da perspectiva são guiados pelo impacto emocional imediato de ganhos e perdas, não por perspectivas de longo prazo de riqueza e utilidade global Kahneman (2012, p. 304).

Se por um lado a teoria da utilidade esperada está pautada na racionalidade e é criticada pela teoria da perspectiva pelo seu fracasso, a vertente da teoria da perspectiva se embasa no comportamento – valor emocional – do ser humano.

A teoria da perspectiva também tem falhas, o que contribui para a aceitação da teoria da utilidade como a principal alternativa (HART e HOLMSTROM, 2016). Ela não sabe lidar com a decepção e a antecipação da decepção, que são reais. As duas teorias também fracassam em admitir o arrependimento. Elas partilham do pressuposto de que as opções disponíveis em uma escolha são avaliadas separadas e independentemente e a opção com valor mais elevado é selecionada. A resolução desse problema pode ser auxiliada pela utilização do método AHP que, em sua proposta, compara e avalia as alternativas em pares e considera cada uma delas para o cálculo do desempenho global.

Esse tema estimula e abre oportunidade a novos estudos, principalmente em áreas da Economia, Computação e Psicologia. Alguns trabalhos tem apresentado relevância científica na área comportamental, tais como: Marshall, (1920); Barber e Odean, (2005); Bhandari e Deaves, (2006); Baker e Wurgler, (2011); Macedo et al., (2011); Baker e Wurgler, (2013) e Granatyr et al., (2017) propuseram modelos de tomada de decisão com base nas emoções. Tais pesquisas visaram também investigar o quanto são reais as emoções de arrependimento e decepção quando as pessoas fazem escolhas. Alguns modelos e teorias ainda em estudos iniciais necessitam de mais investigação. Não é objeto desta tese aprofundar-se nessas discussões, porém, até o momento, a tomada de decisão nessa área – finanças – coloca em destaque a teoria da perspectiva com a vantagem de ser mais simples e tem sido mais aceitável porquê complementa a teoria da utilidade. Nesse sentido, a teoria da perspectiva tem sido bem aceita no meio científico porquê agrega à teoria da utilidade, notadamente, o ponto de referência e a aversão à perda (KAHNEMAN, 2012).

## 2.8 Considerações Finais

Apesar de o risco ser inerente aos seres humanos, desde os seus primórdios, o desenvolvimento do mercado financeiro permitiu uma separação entre risco físico e econômico. A dualidade risco-recompensa está no cerne da definição do risco e exerce papel central não apenas para o estudo das finanças como também para os negócios em geral. As organizações que se mantêm constantemente na defensiva diante do risco não conseguem avaliar o cenário em que se encontram, conseqüentemente não conseguem avaliar os riscos. Por outro lado, organizações que adotam uma visão abrangente do risco conseguem proteger-se e aprendem quais riscos devem explorar e como devem enfrentá-los.

A Seção 2.3 abordou a teoria da utilidade em situações de risco e incerteza. Os agentes tendem a processar as informações a fim de maximizar a utilidade de acordo com as preferências e pesos bem-definidos. Para isso, é necessário um método que auxilie na obtenção do resultado desejado. Assim, foi realizada a comparação entre os principais métodos multicritério de agregação aditivos, com o intuito de determinar qual o método que mais se identifica com a pesquisa, resultando no método numérico AHP, conforme descrito na Seção 2.4. Com isso, na Seção 2.5, foi possível determinar um modelo multicritério que atenda às especificações do problema no qual a solução converge para uma solução global. A tomada de decisão, na Seção 2.7, como um primeiro componente do modelo – antes da automação –, por ser humana é fundamental para determinar o tipo do risco. Na tomada de decisão, estão envolvidas ferramentas fundamentais ao processo, como: risco, incerteza, teoria da utilidade, AHP e teoria da perspectiva. A teoria da utilidade com a teoria da perspectiva permite estimar e avaliar o risco sob os prismas: aversão ao risco, neutro e propenso ao risco. Como resultado, um dado agente pode escolher qual o cenário que melhor satisfaz aos seus objetivos ou da organização.

## CAPÍTULO 3

# MODELOS DE RISCO, CONFIANÇA E REPUTAÇÃO EM SISTEMAS MULTIAGENTES

Este capítulo apresenta fundamentos teóricos e sua relação a esta pesquisa. Inicialmente, na Seção 3.1 são apresentados os conceitos sobre agentes e suas características. Em seguida, na Seção 3.2 são conceituados os sistemas multiagentes, características e tipos de problemas nos quais eles se aplicam. É descrito também agentes baseados em utilidades, uma vez que todos esses conceitos são importantes para o entendimento desta tese, à medida que o modelo proposto é avaliado sob um sistema multiagente com ênfase em risco. Na Seção 3.6 são apresentadas a classificação e as dimensões de modelos relevantes na área de risco, confiança e reputação. O final deste tópico apresenta um resumo comparativo dos trabalhos analisados que abordam as questões relacionadas.

O segundo foco deste capítulo, na Seção 3.7, apresenta uma introdução sobre os principais conceitos de uma subárea de pesquisa da Inteligência Artificial apoiada na Teoria Evolucionária, mais especificamente em uma de suas especialidades conhecidas como Algoritmos Genéticos. A Seção 3.7.1 expõe os principais mecanismos utilizados em Algoritmo Genético para resolver problemas complexos e as características que o torna interessante como ferramenta de otimização. As próximas subseções definem a forma como os parâmetros genéticos influenciam no comportamento de um algoritmo genético, conforme a necessidade do problema e dos recursos disponíveis. Com a aplicação desta técnica de otimização estocástica no modelo de risco, confiança e reputação, pretende-se resolver o problema de inconsistência matricial do método AHP.

### 3.1 Inteligência Artificial e Agentes

A compreensão de Inteligência Artificial (IA) apresentou progressos significativos a partir da década de 70. Diversos métodos de resolução de problemas, como planejamento de ações, aprendizagem simbólica, entre outros, foram concebidos e implementados. Estas técnicas, por serem na prática diferentes, se desenvolveram como subdomínios distintos entre si. Adicionalmente, cada uma buscou gerar sistemas que solucionassem problemas de ordem prática. Esses sistemas destacam-se por utilizar uma metáfora de inteligência baseada no *comportamento individual* do ser humano: como ele pensa, raciocina, toma decisões, planeja, percebe, comunica, aprende, etc. De forma mais sucinta, a inteligência não se resume apenas a raciocinar, decidir, aprender, planejar, mas consiste também em como *integrar esses processos no âmago de uma única entidade*. O objetivo final é obter um comportamento global coerente (WEISS, 1999). Nesta perspectiva, o modelo de agente, surge então como um paradigma integrador e natural destas técnicas.

Embora o termo *agente* seja utilizado em diversas situações, em IA não há uma concordância universal sobre sua abrangência, definições e interpretações para esse termo. Diferentes autores na área utilizam suas próprias interpretações sobre o conceito. (WOOLDRIDGE e JENNINGS, 1995) relatam que um dos motivos da dificuldade em definir o termo deve-se ao fato de que a relevância de determinadas características do agente está diretamente relacionada com o seu domínio de aplicação. Basicamente, os pesquisadores concordam que a *autonomia* é o atributo central para a noção de agente (WOOLDRIDGE, 2009). Os demais atributos são questionados quanto a sua validade. Em alguns sistemas, por exemplo, a capacidade de um agente se mover pode ser essencial para realizar tarefas e cumprir os seus objetivos, para outros tal capacidade não é importante.

Considerando os diferentes contextos em que um sistema multiagente é construído, certas definições são fundamentais e necessitam ser colocadas em destaque, caso contrário perdem sua objetividade.

Em Pattie Maes (1995) tem-se:

“Agentes são sistemas computacionais que habitam um ambiente dinâmico e complexo, percebem e agem de forma autônoma nesse ambiente, e ao fazê-lo, percebem um conjunto de metas ou tarefas para as quais foram concebidos”.

Em Franklin e Graesser (1996) discutem com detalhes a problemática de definição e classificação de agentes. Para eles,

Um agente (autônomo) é um sistema situado e participante de um ambiente, que percebe (sente) esse ambiente e atua nele de forma a concretizar a sua própria agenda e como consequência, de forma a afetar a sua visão sobre o futuro.

Em Gerhard Weiss, (1999) tem-se:

“Um agente é um sistema computacional situado em algum ambiente, e que é capaz de agir de forma autônoma nesse ambiente, a fim de atingir seus objetivos projetados”.

Ferber e Gasser, (1991) propõem uma definição abrangente:

Um agente é uma entidade real ou virtual, capaz de agir num ambiente, de comunicar com outros agentes, que é movida por um conjunto de inclinações (sejam objetivos individuais a atingir ou uma função de satisfação a otimizar); que possui recursos próprios; que é capaz de perceber seu ambiente (de modo limitado); que dispõe (eventualmente) de uma representação parcial deste ambiente; que possui competência e oferece serviços; que pode eventualmente se reproduzir e cujo comportamento tende a atingir seus objetivos utilizando as competências e os recursos que dispõe e leva em conta os resultados de suas funções de percepção e comunicação, bem como suas representações internas.

Essa definição compreende claramente as técnicas anteriormente citadas, e ressalta o seu caráter integrador. A definição genérica acima permite compreender o domínio de um agente, pois pode assumir uma entidade real bem como uma entidade computacional.

Agentes executam ações para modificar seu ambiente e, são motivados por um conjunto de tendências que pode conter metas individuais a serem atingidas (FERBER, 1999). O termo ambiente (cf. Figura 9) refere-se a uma representação do sistema estudado, no qual é possível observar a forma como um agente está inserido no ambiente. No ambiente um agente pode perceber modificações por meio de suas capacidades, percepção e executa ações para alterá-lo, além de possuir habilidades próprias, objetivos individuais e representações de si e do meio onde está inserido (FERBER, 1999).

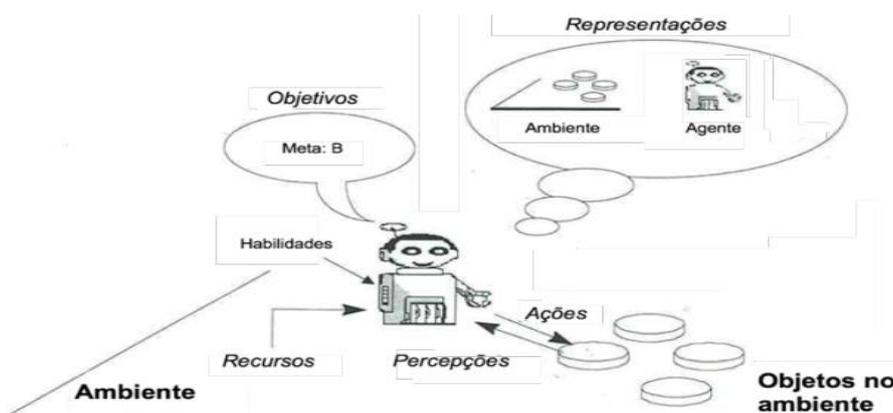


Figura 9. Representação lógica de um agente ao interagir com o ambiente

Fonte: Traduzido de Ferber, (1999)

Há distintas visões de agentes e de suas características próprias. Esses sistemas podem ser dotados com pouca inteligência, como termostatos ou sistemas orientados a objetos, mas também podem ser inteligentes. Entretanto, o que torna um agente bom ou ruim, com ou sem inteligência? Essas são perguntas difíceis de responder. A ação certa é aquela que fará o agente obter maior sucesso. Quatro fatores definem com maior precisão o que significa ser racional (FERBER, 1999):

- (i) a medida de desempenho define o critério de sucesso;
- (ii) o conhecimento anterior que o agente tem do ambiente;

- (iii) as ações que o agente pode executar; e
- (iv) a sequência de percepções do agente até o momento. Essas ações determinam o desempenho de um agente individual ou global.

Para fins deste trabalho, um agente inteligente é aquele capaz de agir de forma racional, autônoma e flexível a fim de atender os objetivos preestabelecidos. A racionalidade permite aos agentes estimar medidas de desempenho e medir o sucesso de comportamento do agente. A autonomia preconiza que os agentes devem operar sem intervenção direta, humana ou de outro tipo, e devem possuir controle sobre suas ações e estado interno. A grande questão quando se fala em racionalidade e autonomia é “dizer ao agente o que fazer, sem dizer como” (WOOLDRIDGE E JENNINGS, 1995). Uma forma alternativa de se resolver é por meio da definição indireta de tarefas mediante algum tipo de medida de desempenho, isto é, associação de valores de utilidade a estados do ambiente (WOOLDRIDGE, 2009). Por outro lado, a flexibilidade fornece quatro características complementares (WEISS, 1999; WOOLDRIDGE e JENNINGS, 1995):

- i. *Reatividade*: os agentes analisam o seu ambiente, (o qual pode ser o mundo físico, um usuário por meio da sua interface gráfica, uma coleção de outros agentes; a Internet; ou talvez todos eles combinados), e respondem em tempo útil às alterações nele ocorridas. Baseiam-se em três componentes: percepção, ação e comunicação;
- ii. *Pró-atividade* (ou orientação por objetivos): os agentes não atuam apenas em resposta a alterações no seu ambiente, mas também apresentam comportamento conduzido por objetivos e são capazes de tomar iniciativa na realização de determinadas ações;
- iii. *Sociabilidade*: os agentes interagem com outros agentes (e possivelmente com os seus usuários) e utilizam algum tipo de linguagem de comunicação de agentes; e
- iv. *Persistência*: os agentes mantêm de forma consistente o seu estado interno ao longo da sua existência.

Todavia, a noção de agente, particularmente para a comunidade de IAD (Inteligência Artificial Distribuída), apresenta outros atributos antropomórficos (mentais), com capacidades cognitivas e aprendizagem, diferenciando um sistema multiagente de outros sistemas (WOOLDRIDGE e JENNINGS, 1995; BRADSHAW, 1997):

- i. *Mobilidade*: capacidade de movimentar-se para realizar suas tarefas e cumprir seus objetivos;
- ii. *Intencionalidade*: capacidade de representação explícita dos objetivos de um agente. Consideram além da percepção, ação e comunicação, também a capacidade de raciocínio sobre uma base de conhecimento;
- iii. *Adaptabilidade*: está associada a capacidade de manipulação e geração de conhecimento. Esta característica levanta a questão da competência e da confiança (MAES, 1995). Um

agente é competente quando realiza de forma eficiente as tarefas previstas; e deve ser de confiança para que o usuário lhe delegue tarefas continuamente; e

- iv. *Veracidade*: relacionada a possibilidade que um agente não comunicar (deliberadamente) informação falsa, quer seja com o usuário ou agentes com quem se relaciona. Esta característica também se refere a confiança anteriormente citada.

Classicamente, as pesquisas em IAD eram apresentadas em conferências e congressos sem distinção de subáreas. Entretanto, devido à complexidade, o tema foi dividido em duas áreas: RDP (**R**esolução de **P**roblemas **D**istribuídos) e SMA (**S**istemas **M**ultiagentes). Na RDP parte-se de uma visão global de um problema específico, para uma decomposição desse problema em subproblemas, onde o subproblema é atribuído a um módulo que coopera e compartilha informações com outros módulos, com o objetivo de solucionar o problema geral. Nos SMA, empregam-se modelos genéricos, a partir dos quais podem conceber agentes, organizações e interações, instanciando tais conceitos na resolução de um problema particular. Os sistemas multiagentes trabalham em conjunto e buscam resolver problemas que vão além de suas capacidades individuais ou conhecimentos de cada solucionador de problemas.

### 3.2 Sistemas Multiagentes

A tecnologia de sistemas apoiado em agentes gera expectativa pela promessa de um novo paradigma em sistemas de software. No entanto, um único agente mostrou, já nos seus primórdios, ser limitado pelo seu conhecimento, seus recursos de computação e de suas perspectivas. O termo sistema multiagente é utilizado com o intuito de caracterizar um sistema que contém dois ou mais agentes comunicando-se entre si para executar um conjunto de tarefas (WOOLDRIDGE, 2009).

Agentes que estão contidos em um mesmo sistema podem ter objetivos e motivações diferentes para representar os interesses de seus representantes. Entretanto, um SMA pode ser construído com o objetivo de resolver um problema complexo, nesses casos, além de seus objetivos individuais, os agentes trabalham para alcançar o objetivo global do sistema. Se o domínio de um problema é complexo, por exemplo, em termos de volume de dados e de controle, ou de imprevisibilidade, então uma maneira razoável de abordá-lo é por meio da concepção e do desenvolvimento de uma série de elementos logicamente e fisicamente distribuídos (os agentes), e especializados em resolver um aspecto particular de um problema (JENNINGS et al., 1998).

Em Bond e Gasser (1988, p. 21) são apresentados conceitos chaves sobre os sistemas multiagentes, dentre eles, destaca-se:

O estudo dos sistemas multiagentes trata a coordenação do comportamento inteligente entre um conjunto de agentes inteligentes e autônomos, como eles podem coordenar seus conhecimentos, objetivos, habilidades e planejar juntos para agir ou resolver problemas.

Jennings e Wooldridge, (1998) enumeraram características mais relevantes de um sistema multiagente vis-à-vis ao enfrentamento de problemas complexos, entre elas:

- i. maior rapidez na resolução de problemas por meio do melhor aproveitamento do paralelismo;
- ii. diminuição da comunicação por transmitir apenas soluções parciais em alto nível para outros agentes ao invés de dados não processados para uma central;
- iii. maior flexibilidade por ter agentes de diferentes habilidades dinamicamente agrupados para resolver problemas;
- iv. maior segurança por permitir os agentes assumirem responsabilidades pela falha de outros agentes.

Os sistemas multiagentes representam uma alternativa para a modelagem e construção de soluções direcionadas a problemas de alta complexidade. Nessa perspectiva, o uso de agentes permite construir um conjunto de técnicas, ferramentas e abstrações que ampliam consideravelmente a forma como atualmente são construídas as soluções de software (WOOLDRIDGE, 2009).

A utilização de sistemas multiagentes tem sido empregada de forma proeminente em uma variedade de aplicações, tais como: Linguística: aprendizagem automática no processamento da linguagem natural (AREF, 2003); Ciências Sociais: modelo de redes de amizade com base na análise de redes sociais (MUTOH A. et al., 2016), ou na área de Medicina: coordenação distribuída de serviço médico de emergência para pacientes de angioplastia (LUJAK M. et al., 2016). Embora esses sistemas sejam utilizados nas mais diversas áreas, o fato em comum é a abordagem distribuída da inteligência na resolução de problemas no qual a abstração essencial para esses sistemas é o modelo de *agente inteligente – ou cognitivo*. Tais abordagens tem como premissa a flexibilidade e permite usá-los em múltiplos contextos e de forma simultânea. Neste cenário, Jennings et al., (1998) expõem que um SMA apresenta um conjunto de fatores que os diferenciam, tais como:

- i. cada agente possui informações ou capacidades incompletas para solucionar um problema, assim cada agente é limitado sobre seu ponto de vista;
- ii. não há um controle central;
- iii. os dados são descentralizados; e
- iv). o processamento é assíncrono.

Portanto, é necessário entender o potencial da utilização de sistemas multiagentes, assim como, nesta pesquisa, modelos baseados na utilidade abordados a seguir.

### 3.2.1 Modelos baseados na utilidade

O termo utilidade provém das Ciências Econômicas<sup>4</sup>. Tal conceito em sistemas multiagentes, é aplicado para medir de forma quantitativa, o processo de tomada de decisão por um agente, i.e., no caso dos modelos de agentes racionais baseados na utilidade, toma-se como princípio da racionalidade o utilitarismo (WOOLDRIDGE, 2002).

Em Wooldridge, (2009, p. 108) tem-se:

Utilidade é um valor numérico e representa um estado como "bom": quanto maior a utilidade, melhor. A tarefa do agente é, então, provocar estados que maximiza a utilidade – nós não especificamos para o agente como isso deve ser feito. Dada uma medida de desempenho, é possível definir a utilidade geral de um agente, em algum ambiente particular de várias maneiras diferentes. Uma forma (pessimista) é definir a utilidade do agente como a utilidade do pior estado que pode ser encontrada pelo agente; outra possibilidade pode ser definir a utilidade geral como a utilidade média de todos os estados encontrada. Não há maneira certa ou errada: a medida depende do tipo de tarefa que você quer que seu agente realize.

Em Ertel (2011, p. 12) tem-se:

O objetivo de um agente à base de utilidade é maximizar a utilidade derivada de decisões corretas no longo prazo, que é em média a soma de todas as decisões ponderadas por seus respectivos fatores de utilidade fornecendo a utilidade total.

Conforme abordado por Wooldridge, (2009) e Ertel, (2011), a utilidade é um valor numérico que representa quão bom é o estado de mundo para um determinado agente: quanto mais alto o seu valor, melhor será o interesse por parte do agente em estar naquele estado. Sendo assim, a tarefa do agente passa a ser descobrir os estados do mundo que maximizem a sua utilidade  $u$ . Nessa abordagem, a especificação de uma tarefa é feita por meio de uma função:

$$u: E \rightarrow \mathfrak{R}$$

Essa função associa um valor real  $\mathfrak{R}$  a cada estado  $E$  do ambiente. Esse tipo de medida de desempenho define as diferentes formas do grau de utilidade total de um determinado agente em um ambiente específico. Uma forma pessimista quanto ao cálculo da utilidade, é o agente escolher o pior estado encontrado ao longo da execução ou definir a utilidade como a média dos valores de utilidade de todos os estados encontrados. Outra forma é maximizar o valor esperado. Em seguida, ele escolhe a ação, com base nos objetivos especificados, que leva à melhor utilidade esperada. Não há uma maneira certa ou errada. A escolha vai depender do tipo de tarefa que o agente deve executar. No Capítulo 4 Seção 4.1, é descrito o tipo de função de utilidade usada internamente pelos agentes no contexto deste trabalho.

---

<sup>4</sup> A Ciência Econômica é uma ciência social, que estuda o funcionamento da Economia Capitalista, sob o pressuposto do comportamento racional do homem econômico, i.e., da busca da alocação eficiente dos recursos escassos entre inúmeros fins alternativos (PAIVA, N.A.C. e CUNHA, M.A. Noções de Economia. Fundação Alexandre de Gusmão, 2008).

Outro aspecto interessante e não menos importante é a subjetividade do conceito de utilidade. A maneira de entender e interpretar o conceito de utilidade é relacioná-lo ao conceito de “dinheiro”: quanto mais, melhor. Para Wooldridge (2009), o conceito de utilidade vai além, sendo a função utilidade uma maneira quantitativa de representar as *preferências* de um agente. Toma-se por suposição que uma determinada pessoa *A* possua 100 milhões de reais, enquanto a pessoa *B* não possui nada. Um “bom” samaritano rico aparece e decide doar 1 milhão de reais para uma das pessoas. Se o bom samaritano decidir pela pessoa *A*, qual seria então o acréscimo de utilidade dessa nova situação para essa pessoa? Como *A* já possui muito dinheiro, esse incremento de utilidade não é tão perceptível assim. Afinal, o que se pode fazer com 101 milhões de reais que não se pode fazer com 100 milhões? Por outro lado, pensando sob o ponto de vista de *B*, a posse de 1 milhão de reais mudaria completamente a sua condição de vida, passando de miserável a milionário (KAHNEMAN, 2012). No Capítulo 2, Seção 2.7, Figura 5 pode ser visualizada melhor o relacionamento entre dinheiro e utilidade.

Nesse contexto também é possível pensar na situação oposta. Ao supor que *A* está com débito de 100 milhões de reais e *B* com o débito de 1 milhão de reais. A doação da quantia de 1 milhão de reais para a pessoa *A* não mudaria muito sua situação, ao contrário de *B* que resolveria a situação. Isso mostra a subjetividade dos valores envolvidos no problema do agente (KAHNEMAN, 2012).

A principal vantagem de um agente inteligente baseado em utilidade está na sua grande autonomia: uma vez que a função de utilidade seja bem especificada, este agente pode, teoricamente, resolver qualquer tarefa no ambiente, desde que não seja totalmente dinâmico e incerto (desconhecido), de maneira racional (ROSENSCHEIN e ZLOTKIN, 1994). O inconveniente está na dificuldade em derivar uma função de utilidade apropriada quando o ambiente se torna extremamente complexo (CONTE e SICHMAN, 1995).

Nesta pesquisa utilizou-se a definição de agentes — baseado em utilidade — como uma entidade de software que exhibe comportamentos autônomos. Está situado em algum ambiente sob o qual ele é capaz de perceber estímulos e realizar ações para alcançar seus objetivos. Para isso, os agentes procuram maximizar a sua própria utilidade, com base em decisões ponderadas por seus fatores de utilidade e visam utilidade global para a tomada de decisão.

O cálculo de utilidade combinado com a teoria da probabilidade permite obter a teoria da decisão. Pierre Simon Laplace definiu a teoria das probabilidades demonstrados a partir de axiomas das probabilidades e a teoria dos conjuntos (ROGER, 2005). Já a teoria da decisão relaciona-se à forma e ao estudo do comportamento de fenômenos psíquicos e podem ser reais ou fictícios. Tais decisões considera a identificação de valores, incertezas e outras questões relevantes em uma dada decisão, sua racionalidade, as condições pelas quais após um processo será levado a ter como resultado a decisão ótima. Assim, um agente pode tomar decisões racionais com base em suas crenças e no que ele deseja. Então:

$$T_D = T_P + T_U$$

A Teoria da Probabilidade ( $T_P$ ) descreve aquilo que um agente *deve acreditar* com base nas evidências. A Teoria da Utilidade ( $T_U$ ) descreve o que um agente *deseja* e como resultado, a Teoria da Decisão ( $T_D$ ) descreve o que um agente *deve fazer com o resultado* (RUSSEL e NORVIG, 2010). A Teoria da Decisão fundamenta-se no princípio de que um agente é racional se ele escolhe a ação que resulte na mais alta utilidade esperada, calculada como a média sobre todos os resultados possíveis de ação. Isso é chamado princípio de utilidade máxima esperada. O agente de teoria de decisão pode tomar decisões racionais baseadas em suas crenças e no que ele deseja em contextos nos quais a incerteza e objetivos conflitantes deixam um agente lógico sem meios para decidir. Enquanto um agente lógico faz distinção binária entre estados bons (objetivos) e estados ruins (não objetivos), um agente de teoria de decisão tem uma medida contínua da qualidade do estado. Com o passar do tempo, o agente de teoria de decisão pode acumular novos conhecimentos e seu estado de crença se altera (RESENDE, 2005).

A Teoria da Probabilidade proporciona um meio para reduzir a incerteza. Ela altera o modo como um agente faz as escolhas para tomar suas decisões no ambiente. Para fazer tais escolhas, um agente deve ter preferências entre os diferentes resultados de vários planos. Embora a utilidade seja descrita por uma função que faz o mapeamento de estados em números reais, e as preferências de agentes reais em geral são sistemáticas. Existem modos sistemáticos de projetar funções de utilidade que, quando instaladas em um agente, fazem com que ele gere os tipos de comportamentos desejados. Portanto, emprega-se a Teoria da Utilidade para representar e raciocinar com base em preferências (RUSSEL e NORVIG, 2010).

### 3.3 Ambiente

A dualidade agente/ambiente está situada no centro dos sistemas multiagentes, os dois estão intrinsicamente ligados e constituem-se dois aspectos complementares do universo multiagente. A criação de um sistema multiagente requer a definição simultânea da estrutura de agentes no seu ambiente, bem como as ações que devem ser realizadas (FERBER, 1999).

Embora a variedade de ambientes de tarefas em inteligência artificial seja vasta, é importante definir as dimensões envolvidas nesse projeto e sua aplicabilidade no contexto de agentes fundamentado em utilidade. O tipo de ambiente define a forma como o agente vê o mundo, isto é, determina sobre qual tipo de representação do mundo o agente deve trabalhar, bem como sua maneira de atuar e perceber as alterações no ambiente (FERBER, 1999).

A variedade de ambientes de tarefas, essencialmente são os “problemas” para os quais os agentes racionais são as “soluções”. Embora o ambiente de tarefas seja vasto, é possível identificar um número reduzido de dimensões, nos quais determinam o projeto e a aplicabilidade das técnicas de

implementação de agentes. Com relação às características de um ambiente com agentes, Wooldridge, (2009) define como:

- i. *Parcialmente ou totalmente Observável*: uma vez que partes do estado estão ausentes, não se tem uma visão completa da situação no ambiente, por exemplo, um agente provedor não sabe da proposta oferecida por outros agentes provedores;
- ii. *Determinístico ou Estocástico*: é determinístico se qualquer ação de um agente tem a garantia de resultar em um efeito único sobre o ambiente. Caso contrário, o ambiente é estocástico;
- iii. *Estático ou Dinâmico*: nenhuma modificação ocorre enquanto o agente está decidindo qual decisão tomar. Portanto, o agente é o único responsável pela alteração do ambiente. Em um ambiente dinâmico, outros processos estão operando e realizando mudanças além do controle do agente;
- iv. *Discreto ou Contínuo*: possui um número finito de estados e limita o número de percepções e ações do agente. Em contrapartida, no ambiente contínuo, não restringe o número de interações do agente;
- v. *Episódico ou Sequencial*: No episódico, cada nova situação em que o agente se depara é única e não depende dos eventos anteriores. No sequencial, as ações do agente podem vir a influenciar seu desempenho no futuro.

Wooldridge, (2009) considera que um ambiente parcialmente observável, não determinístico, dinâmico, contínuo e sequencial são os tipos de ambientes mais complexos de ser desenvolvido. Entretanto, no contexto deste trabalho, o ambiente implementado é caracterizado como parcialmente observável, determinístico, dinâmico, discreto e sequencial.

### 3.4 Mecanismo de Coordenação de Agentes

Os agentes autônomos interagem para realizar seus próprios objetivos e se envolvem em algumas atividades sociais, como coordenação, cooperação, negociação e resolução de conflitos (WOLDRIDGE, 2009; Zhong et al., 2015). A coordenação contribui para o processo pelo qual os agentes raciocinam acerca das suas ações locais e antecipam o efeito das ações de outros agentes de modo a assegurar que a comunidade possa atuar de maneira coerente (JENNINGS, 1998). Sem a atividade de coordenação, os benefícios da execução distribuída de tarefas desaparecem e a comunidade de agentes pode degenerar numa coleção caótica e incoerente de agentes individuais (WOOLDRIDGE, 2002). No entanto, as mesmas características que atraem interesse, Durfee et al., (1995) afirmam que também são desafiadores e relevantes:

- (i) Assegurar que as partes essenciais do problema possam ser resolvidas por pelo menos um agente ou que todas as partes da tarefa cooperativa sejam executadas;

- (ii) Possibilitar aos agentes realizar atividades de forma cooperativa e integradas à solução global;
- (iii) Certificar que os membros da equipe possam agir com foco nos objetivos globais e de forma consistente;
- (iv) Garantir que os três objetivos anteriores sejam alcançados dentro dos limites computacionais e dos recursos disponíveis.

Portanto, o que se espera de um modelo formal dos sistemas multiagentes é a criação dos agentes, atividades de comunicação, distribuição e mobilidade espacial, sincronização, distribuição e monitoração das ações dos agentes ao longo do tempo (DURFEE et al., 1995).

A resolução distribuída de problemas realizada de forma adequada por meio de sistemas multiagentes implica na resposta a múltiplas questões. Neste contexto, Wooldridge, (2009) expõe a necessidade de haver mais investigação em resolução distribuída de problemas devido as seguintes questões:

- (i) Como decompor um problema em tarefas menos complexas?
- (ii) Como as tarefas podem ser melhor distribuídas entre os agentes de um sistema?
- (iii) Como sintetizar a solução global de um sistema a partir das soluções parciais de vários subproblemas?
- (iv) Como otimizar a coerência nas atividades de resolução de problemas pelos agentes;
- (v) Que tipo de metodologia utilizar para coordenar a atividade dos agentes, evitando interações destrutivas?

Nas últimas décadas surgiram vários trabalhos que contribuíram de forma parcial ou total para a solução de algumas questões citadas. No trabalho relevante de Randall Davis e Reid Smith (1983), propõem a resolução de conflitos por meio da negociação e criam o protocolo *Contract Net*. Os agentes podem assumir dois papéis: *manager* é responsável por monitorar a execução de uma tarefa e o *contractor* responsável por executar as tarefas.

Com o objetivo de criar alternativas para resolver problemas, outros trabalhos desenvolveram modelos de *cooperação*. Grandison e Sloman, (2000) argumentam que a cooperação e a delegação são características chaves em sistemas multiagentes. O modelo MDT (*MULTI-DIMENTIONAL TRUST*) de (Griffith, 2005) foi projetado para trabalhar com a delegação de tarefas, e apresentou um cenário de computação em rede. Cada agente tem um conjunto de recursos que são visíveis para os outros e um conjunto de tarefas que devem ser realizadas usando a cooperação. O objetivo é determinar o melhor parceiro para delegar uma tarefa com base nas preferências e capacidades de um dado agente. O modelo de Rehák et al., (2005) utilizam a *coalizão* como estratégia de cooperação na qual os agentes dentro de uma comunidade aprendem a identificar membros desertores e progressivamente se recusam a cooperar com eles. Isso é feito por um método que permite acessar a confiabilidade dos parceiros de coalizão usando uma função de utilidade, imposta pela tarefa, que

retorna o resultado da cooperação. Sempre que for possível, cada tarefa é decomposta em subtarefas e atribuídas para agentes que tenham as habilidades para resolvê-las.

Alguns modelos de interação apresentam situações de competição entre os agentes que ocorrem quando conflitos de interesse se apresentam e geralmente são motivados pela escassez de recursos, a luta pela existência ou por objetivos conflitantes. Em um ambiente com agentes competitivos, um agente pode mostrar um comportamento fraudulento para criar problemas para seus concorrentes e aumentar sua própria utilidade. Neste contexto, mecanismos de confiança são importantes para escolher agentes confiáveis para interagir e competir. A negociação é um tipo de interação de competição útil para construir acordos para resolução de conflitos, e um dos campos mais explorado em sistema multiagente é o comércio eletrônico (BOTELHO et al., 2011).

O modelo de Teacy et al., (2008) usa um cenário de comércio eletrônico composto por provedores de serviços que *competem* por informações sobre seus concorrentes, e cada provedor precisa pagar para obter essas informações. Nesse ambiente competitivo, os agentes avaliam o quanto estão dispostos a pagar pela informação e também por aqueles que perguntam, pois existe o risco de receber informações falsas, o que pode reduzir sua função de utilidade.

Marcos A. H. Shmeil, (1999) define um protocolo que utiliza estratégias e táticas a serem aplicadas durante um processo de negociação. O objetivo é gerar uma oferta inicial, incrementar os valores que satisfaçam os critérios, para seus valores de utilidade máxima (satisfaz mais), e para as demais ofertas/contra ofertas. Quando não for mais possível manter o valor do critério escolhido, subtrai-se uma unidade, o valor relativo da instância do critério em questão. O objetivo da técnica é a troca de informações. Na atualidade, esse protocolo ainda é um dos trabalhos mais completos como proposta de um protocolo para desenvolver aplicações com agentes de software na negociação compra/venda de um produto/serviço.

Nas últimas duas décadas, a comunidade científica esforçou-se em criar linguagens e padrões de construção que permitem compartilhar e integrar agentes que não sejam construídos pelo mesmo grupo. Destacam-se KQML (*Knowledge Query and Manipulation Language*) e FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*). A linguagem KQML, pode ser considerada tanto uma linguagem como um protocolo de comunicação entre agentes automáticos e humanos. Baseia-se na associação de estados cognitivos dos agentes com primitivas da linguagem denominadas atos de fala. Informações complementares podem ser encontradas em FININ et al., (1994).

A FIPA, mantida pela IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*), definiu um conjunto de especificações visando modelar e construir sistema multiagente (FIPA, 2002). A sua funcionalidade possui três serviços obrigatórios: (AMS) *Agent Management Systems*, (ACC) *Agent Communication Channel* e (DF) *Directory Facilitador*. Tal modelo de referência considera: arquiteturas de software, linguagens de comunicação, gestão de agentes, protocolos de comunicação como: *fipa-contract-net*, *fipa-iterated-contract-net*, entre outros. As especificações FIPA têm

auxiliado na definição de normas para tecnologias conceituais e computacionais usadas para a criação e operação de agentes e de forma padronizada e interoperável.

Essas linguagens, ambientes e padrões para o desenvolvimento de agentes e sistemas multiagentes são importantes para manter o controle do sistema e servem como aplicações dos conceitos de confiança, reputação e risco descritos a seguir.

### **3.5 Confiança e Reputação**

Apesar dos agentes possuírem muitos atributos que os qualificam, eles têm limitações que implicam na sua capacidade de interação, principalmente em ambientes de grande escala. O ambiente também pode representar uma limitação para o agente por apresentar restrições de conectividade ou velocidade nos canais de comunicação, interferindo na capacidade sensorial dos agentes (FERBER, 1991). Sendo assim, é mínima as chances dos agentes obterem um estado de informação ideal sobre seu ambiente e dos indivíduos que habitam nele. Embora o grau de incerteza seja característico nesse tipo de ambiente, cabe aos agentes interagirem e buscarem um nível aceitável de segurança. De acordo com esse contexto, a confiança passa a ser um requisito essencial nas relações entre agentes, pois permite mensurar o impacto das interações entre indivíduos no ambiente que estão atuando (CASTELFRANCHI e FALCONE, 2001).

O termo confiança começou a ser discutido em vários domínios de aplicação, com diferentes perspectivas, como a Economia (MARIMON et al., 2000); Filosofia (HUME, 1975); Sociologia (BUSKENS, 1998) e Psicologia (KARLINS e ABELSON, 1970; BROMLEY, 1993). Sistemas de confiança e reputação em computação podem ser aplicados em muitas áreas, tais como: e-commerce, sistemas distribuídos, redes sociais, redes P2P, sistemas de recomendação. Nesse sentido qualquer sistema que possa processar qualquer tipo de recomendação, pode trazer muitos benefícios para essa linha de pesquisa (JANISZEWSKI, 2017). Luhmann, (1979) explorou os conceitos de confiança dentro da área da Filosofia, definindo-a como uma atitude relacionada à incerteza, complexidade e inabilidade para prever o futuro. Castaldo (2003), por sua vez, a define como uma atitude baseada em crenças sobre as características de outra pessoa e alguns elementos de uma situação particular. Sirdeshmukh et al., (2002) e Janiszewski (2017) definem confiança como as expectativas que alguma pessoa e/ou consumidor possui sobre os prestadores de serviços, avaliando se eles são responsáveis e podem ser confiados sobre suas promessas. Por outro lado, Simpson, (2007) e Kumar e Pradhan (2016) sugerem confiança como um estado que compreende intenções de aceitar vulnerabilidades baseado em expectativas positivas das intenções do comportamento dos outros. Além dessas definições, outros autores levam em consideração probabilidades (RAMCHURN et al., 2004), risco (BURNET et al., 2011), crenças e dependências (ZUO e LIU, 2017; Klabi et al., 2017), delegação (WANG et al., 2008) e blockchain (CALVAREZI et al., 2018). Por outro lado, o oposto da confiança

é a desconfiança (*distrust*), que é considerada como uma “confiança negativa” ou expectativas negativas sobre a competência ou ações de uma entidade. Baseado nisso, é possível afirmar que se a confiança é baixa, o nível de desconfiança é alto.

Outro conceito relacionado à confiança é a reputação, definida como a coleção de opiniões recebidas de outros usuários (SHEHADAA et al., 2018), ou a expectativa do comportamento de alguém baseado em interações passadas indicadas por outros (ABDUL-RAHMAN e HAILES, 2000). Reputação é uma meta-crença, uma crença sobre a mente dos outros ou mais especificamente, sobre as avaliações de outros (CONTE e PAOLUCCI, 2002) e pode ser expressa como qualidade derivada de uma rede social visível para os membros da rede global (JOSANG e BEWSELL, 2010). Similarmente, Mui et al., (2002) definem reputação como a percepção que um agente cria por meio de ações passadas sobre suas intenções e normas, estando relacionada às expectativas mantidas dos outros. Adicionalmente com relação a expectativas, Grishchenko et al., (2004), argumentam sobre expectativas relacionadas ao cumprimento de um evento esperado para estar próximo de um nível médio de cumprimento de eventos passados. Por outro lado, Wang e Vassileva, (2003) argumentam que a reputação é a crença que alguém possui sobre as capacidades, honestidade e confiabilidade de alguém com base em recomendações recebidas de outros. Por fim, Misztal, (1996) apresenta uma definição com cunho social, argumentando que a reputação ajuda a gerenciar a complexidade da vida social pelo fato de destacar pessoas de confiança que possuem interesse em cumprir promessas realizadas.

### 3.5.1 Revisões sobre modelos de risco, confiança e reputação

Esta seção aponta as principais revisões bibliográficas pesquisadas sobre modelos de risco, confiança e reputação aplicados na área de agentes de software em Ciência da Computação. Como já dito, esta tese tem como objeto principal de pesquisa o risco e em segundo plano as dimensões de confiança e reputação.

Para investigar o tema relacionado à pesquisa foram utilizadas algumas restrições para atender aos objetivos, tais como:

- i) tipos de documentos: artigos de periódicos e teses;
- ii) área de pesquisa: ciência da computação e sistemas de informação;
- iii) campos de busca: título, *abstract* e *keywords*;
- iv) período de publicação: 1998 a 2018;
- v) idioma: inglês.

Na revisão sistemática os artigos atendem a características, como:

- i) possuir palavras de expressão em seu título e/ou resumo;

- ii) ter sido publicado recentemente, com ênfase nos últimos 5 anos;
- iii) ter aplicação comprovada no campo científico;
- iv) modelos que envolvem noção de risco, confiança e reputação em sistema multiagente.

Os artigos removidos da revisão sistemática detêm pelo menos uma dessas características:

- i. apresentou menos de duas páginas;
- ii. trabalhos hospedados em serviços pagos não financiados pela PUC-PR;
- iii. trabalhos que não utilizam protocolo https.

A seguir é apresentado as principais bases de dados nas quais decorreram as triagens (cf. Tabela 2):

Tabela 2. Principais bases de dados de pesquisa

<b>Base de Dados</b>	<b>String de Acesso</b>	<b>Forma de Acesso</b>
Advanced Computing: An International Journal (ACIJ)	<a href="http://airccse.org/journal/acij/acij.html">http://airccse.org/journal/acij/acij.html</a>	Acesso Livre
ACS Journals Search	<a href="https://pubs.acs.org">https://pubs.acs.org</a>	Acesso via Portal Capes
ACM Digital Library	<a href="http://www.dl.acm.org">http://www.dl.acm.org</a>	Acesso via Portal Capes
Directory of Open Access Journals - DOAJ	<a href="https://doaj.org">https://doaj.org</a>	Acesso Livre
CiteSeerX	<a href="http://www.citeseer.ist.psu.edu">http://www.citeseer.ist.psu.edu</a>	Acesso Livre
Directory of Open Access Books - DOAB	<a href="https://www.doabooks.org">https://www.doabooks.org</a>	Acesso Livre
IEEE Xplore Digital Library	<a href="https://ieeexplore.ieee.org/Xplore">https://ieeexplore.ieee.org/Xplore</a>	Acesso via Portal Capes
JSTOR Mathematics & Statistics	<a href="https://projecteuclid.org">https://projecteuclid.org</a>	Acesso via Portal Capes
J-STAGE	<a href="https://www.jstage.jst.go.jp">https://www.jstage.jst.go.jp</a>	Acesso via Portal Capes
SciELO.org	<a href="http://www.scielo.org">www.scielo.org</a>	Acesso Livre
ScienceDirect (ELSEVIER)	<a href="https://www.sciencedirect.com">https://www.sciencedirect.com</a>	Acesso via Portal Capes
SCOPUS (ELSEVIER)	<a href="http://www.scopus.com">http://www.scopus.com</a>	Acesso via Portal Capes
SpringerLink (MetaPress)	<a href="https://link.springer.com">https://link.springer.com</a>	Acesso via Portal Capes
Wiley Online Library	<a href="https://onlinelibrary.wiley.com">https://onlinelibrary.wiley.com</a>	Acesso via Portal Capes

Para atingir os objetivos especificados nessa tese, foram selecionados inicialmente 1.836 artigos com referência à área de estudo. Após nova seleção, foram relacionados 286 artigos considerados relevantes em sistemas multiagentes. Foi dada ênfase a palavras-chave consideradas importantes para identificar os artigos, tais como: confiança, reputação, risco, sistema multiagente, agentes inteligentes, tomada de decisão e modelos de confiança e reputação. As palavras-chave

permitiram realizar uma análise individualizada nos modelos de confiança, reputação e risco, avaliar os tipos de interações utilizadas em sistema multiagente e as dimensões utilizadas em cada modelo. Nos *reviews*, percebeu-se que a maioria dos modelos enfatizaram confiança e reputação, e utilizam o risco de maneira superficial, às vezes como consequência (PINYOL e SABATER, 2013; WAHAB et al., 2015; BRAGA et al., 2018). A partir dessa constatação, foi aplicado novo filtro e considerou-se principalmente para a pesquisa, trabalhos que enfatizaram o risco, e em seguida confiança e reputação (cf. GRANATYR et al., 2015; BRAGA et al., 2018; CALVARESI et al., 2018a).

A Tabela 3 apresenta o quadro conforme a proposta desta pesquisa, e exhibe também de forma resumida nove revisões relevantes sobre modelos de risco, confiança e reputação, e as dimensões consideradas em cada trabalho.

Tabela 3. Revisões e dimensões

1) Sabater e Sierra 2005	2) Ramchurn et al. 2004	3) Lu et al. 2009	4) Rehá k et al. 2005	5) Wang et al. 2008
Modelo conceitual	Nível individual	Dimensão	Autoconfiança	Modelo numérico
RFontes de informação	Modelos cognitivos	Semântica	Incerteza	Detecção de mentiroso
Visibilidade	Risco (utilidade)	Risco	Cooperação	Preferências
Granularidade	Modelos de reputação	Arquitetura	Utilidade	Utilidade
Comportamento	Aprendizagem	Modelo	Modelo	Risco
Tipo de informação	Nível global	Redes confiança	Tomada decisão	Ambiente aberto
Confiabilidade	Protocolos de interação	Confiabilidade	Conhec. social Coalizão	
	Mec. de reputação		Risco	
	Mec. de segurança			
6) Grandison e Sloman 2000	7) Pinyol e Sabater 2013	8) Al Jazzaf et al. 2010	9) Burnet et al. 2011	
Acesso a recursos	Confiança	Confiança	Numérico	
Acesso a serviços	Cognitivo	Semântica	Preferências	
Delegação	Procedural	Confiança inicial	Risco	
Infraestrutura	Generalidade	Preferências	Ambiente aberto	
Certificação Digital				

Fonte: O autor, (2018)

As revisões selecionadas apresentam um conjunto de dimensões (cf. Tabela 3) quanto à estruturação e classificação de conceitos; tal estruturação se encerra em torno da noção de dimensão. Quando um novo modelo é construído, deve-se levar em conta as dimensões utilizadas, à medida que elas servem para avaliar ou comparar os modelos existentes (BRAGA et al., 2018 e CALVARESI et al., (2018a) ). Na Tabela 3, Wang et al., (2008) apresenta um mecanismo no qual os agentes personalizam o seu comportamento com base no risco de interação. Ramchurn et al., (2004) investiga o estado da arte sobre modelos de risco, confiança e reputação com ênfase em modelos

distribuídos, nível local, modelos centralizados e nível global. Burnett et al., (2011) propõem uma função de pagamento e especifica os benefícios da compensação de um agente dependendo do resultado da delegação da tarefa. Os agentes podem escolher cinco diferentes estratégias para delegar tarefas: delegação simples, delegação monitorada, delegação não monitorada, delegação incentivada com reputação e retirada da delegação. Rehák et al., (2005) utiliza lógica nebulosa para representar os estados mentais dos agentes. Venanzi et al., (2011) também propõe explorar a teoria de confiança, abordando arquitetura cognitiva com base em Castelfranchi e Falcone (2001), onde explorou também risco e delegação de tarefas.

A partir das revisões analisadas, constatou-se que os modelos apresentam suas próprias classificações para lidar com risco confiança e reputação (Calvaresi et al., 2018a; BRAGA et al., 2018b). Entretanto, percebe-se a particularidade de cada modelo pelas diferentes dimensões adotadas na mesma problemática. A revisão de Wang et al., (2008) não aborda mecanismos de reputação e segurança citadas por (RAMCHURN et al., 2004), nem considera as preferências citado por (BURNETT et al., 2011). Entretanto, Burnett et al., (2011) e Khaqqi et al., (2018) utilizam preferências para calcular o risco das interações, mas não considera nível individual e global e Ramchurn et al., (2004), as considera. Wang et al., (2008) e Burnett et al., (2011) utilizam dimensões diferentes para utilizar um mecanismo de delegação de tarefas, nos quais personalizam o comportamento com base no risco da interação. Rehák et al., (2005) utiliza coalizão e propõe funções de utilidades usadas em interações passadas para avaliar e selecionar parceiros, Venanzi et al., (2011) utilizam um mecanismo de raciocínio do agente por meio de mapas cognitivos e baseiam-se na confiança para calcular o risco.

De acordo com as revisões selecionadas, esta pesquisa identificou as principais dimensões exploradas por modelos de risco, confiança e reputação, primordialmente nas nove revisões avaliadas (cf. Tabela 3), mas não se restringiu apenas a elas. Utilizou ainda, citações de outros trabalhos (cfe. Seção 3.6) de relevância como forma de complementação. A Tabela 4 apresenta as dimensões delineadas juntamente com as respectivas revisões que fazem referência a elas em risco, confiança e reputação:

Tabela 4. Classificação das dimensões selecionadas

Dimensão	Abreviatura	Significado	Revisões Consideradas
PAR — Paradigma	N	Numérico	Josang e Presti, 2004; Shehada et al., (2018)
	C	Cognitivo	Pinyol e Sabater, (2013)
FI — Fontes de Informação	ID	Interação Direta	Sabater e Sierra, (2005); Klabi et al., (2018)
	OD	Observação direta	(Ramchurn et al. 2004) e (Zuo e Liu, 2017)
	TE	Testemunhos	Li et al., (2015)
	RC	Reputação Certificada	Borges et al., (2015)
	SO	Sociológica	Zong et al., (2015)
	PR	Preconceito	Mokhtari et al., (2011)
SC—Suposição de Comportamento	0	Ambiente honesto	Sabater e Sierra, (2005) e Fang et al., (2013)
	1	Omissão	Zheng et al., (2006)
	2	Mentira	Majd e Balakrishman, (2015)
Preferências	PF	Peso de Fatores	(Aljazzaf et al., 2010)
Confiança Inicial	CI	Inicial	(Aljazzaf et al., 2010)
Ambiente Aberto	AB	Dinâmico	(Zuo e Liu, 2017)
Medidas de Risco	MR	Risco	(Lu et al., 2009); Josang e Presti, (2004) e Majd e Balakrishman (2015)
			Sabater e Sierra, (2005); Janiszewski, (2017)
VI — Visibilidade	L	Local	Shehada et al., (2018)
	G	Global	
SI — Segurança da Informação	ST	Sem Tratamento	Grandison e Sloman, (2000); Pinyol e Sierra, (2013)
	AR	Acesso a Recursos	Monteserin e Amandi (2015)
	OS	Prestação de serviços	Jelenc e Trcek (2014)
	EC	Entidade certificadora	Borges et al., (2015)
	DE	Delegação de tarefas	Venanzi et al., (2011)
	IN	Infraestruturas	Bertocco e Ferrari (2008)
GR — Granularidade	U	Único contexto	Lu et al. (2009) e Klabi et al., (2018)
	M	Múltiplos contextos	Janiszewski (2017)

Fonte: O autor, (2018)

Os trabalhos selecionados (cf. Tabela 4) contribuem para as dimensões selecionadas: Sabater e Sierra, (2005) e Pinyol e Sabater, (2013) destacam-se pela importância que os trabalhos representam para confiança e reputação. São esses trabalhos de base que incentivam novos pesquisadores, como: Jelenc e Trcek (2014); Majd e Balakrishman, (2015); Janiszewski, (2017) e Shehada et al., (2018). Similarmente, os trabalhos de Rehák et al., (2005); Lu et al., (2009); Aljazzaf et al., (2010) e Majd e Balakrishman (2015) além das dimensões de confiança, auxiliam com os seus trabalhos na representação do risco. O modelo de Grandison e Sloman (2000) e Venanzi et al., (2011) contribuem com as dimensões delegação de tarefas e segurança da informação. Todas essas

dimensões são importantes, pois fazem parte do tema central deste trabalho. É importante ressaltar que as dimensões selecionadas na Figura 10, podem ser combinadas de várias maneiras para resolver um determinado problema. Assim como: risco, confiança e reputação também podem ser usados de forma distinta para atender a determinados objetivos. A partir da análise das dimensões dos modelos selecionados na Tabela 3 e a Tabela 4, a Figura 10 apresenta as dimensões selecionadas que contribuem para a seguinte taxonomia:

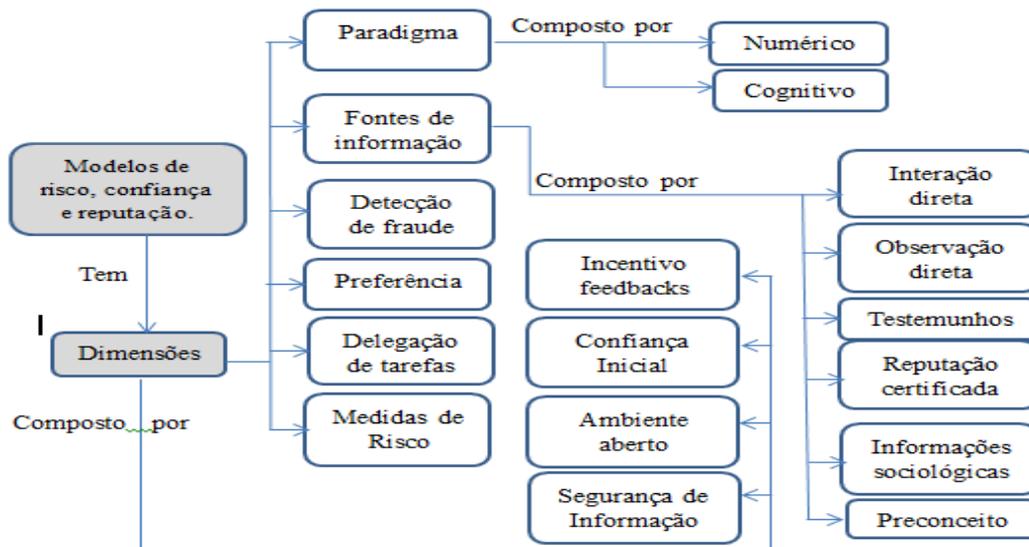


Figura 10. Taxonomia para modelos de risco, confiança e reputação  
Fonte: Adaptado de Granatyr et al., (2015)

A próxima seção detalha cada uma das dimensões selecionadas, apresenta a fundamentação teórica, análise dos modelos, contribuições e suas respectivas dimensões sob a visão de risco, confiança e reputação. A análise também considera os modelos relacionados à Tabela 5.

### 3.5.2 Paradigma

O tipo de paradigma está relacionado ao método usado para construir o modelo, e de acordo com Sabater e Sierra (2005), ele é classificado como numérico, cognitivo e híbrido que podem fazer uso dessas duas abordagens em conjunto.

O paradigma numérico interpreta agregações numéricas de interações passadas. Apresenta a probabilidade de um agente desempenhar corretamente seus comportamentos de acordo com os parâmetros estabelecidos, como: estatística, funções de utilidade e interações numéricas, sendo um exemplo o sistema de reputação do *eBay* (EBAY, 2017). Neste cenário, os usuários avaliam os outros de acordo com os resultados de transações realizadas e essas avaliações são agregadas para formar a reputação do usuário.

A principal vantagem do raciocínio probabilístico sobre o raciocínio lógico é o fato de que os agentes podem tomar decisões racionais mesmo quando não há informação suficiente para se provar que uma ação funcionará. (CHARNIAK, 1991, p. 50).

Quase todas as abordagens numéricas utilizam métodos estatísticos para calcular a confiança e alguns pesquisadores utilizam redes bayesianas, como é o caso de REGAN et al., (2006); TEACY et al., (2012); FANG et al., (2012). Burnett, (2011) discute nesse trabalho a possibilidade da confiança e reputação não garantir evidências suficientes para avaliar a confiabilidade de parceiros ou provedores de opinião. Neste caso, funções de utilidade auxiliam a tomada de decisão quando os riscos associados às interações são altos e as relações de confiança entre agentes são fracas.

Alguns modelos numéricos utilizam técnicas de Aprendizagem de Máquina para calcular a confiança dos agentes e aplicam algoritmos de árvores de decisão e aprendizagem por reforço (TRAN e COHEN, 2004).

Por outro lado, os modelos cognitivos são relacionados a crenças, estados mentais e consequências mentais e estão próximos das arquiteturas *BDI* (*Believe, Desire e Intention*) para modelar o sistema (BRATMAN, 1999). Alguns exemplos deste paradigma utilizam o uso de competência, teorias sociais, autoestima, amizade e mapas cognitivos.

Na dimensão paradigma, a grande maioria dos modelos que englobam risco é numérica e em menor número cognitivos, e seus aspectos serão aprofundados a seguir.

## Modelos Numéricos

Os modelos de confiança, reputação ou risco normalmente utilizam técnicas de inferência estatística. O modelo de Marsh, (1994) é um dos primeiros modelos computacionais de confiança na literatura. Marsh acredita que conhecimento, utilidade, importância, risco e competência são aspectos importantes relacionados à confiança. Ele definiu três tipos de confiança: confiança disposicional, confiança geral e confiança situacional. O gerenciamento de confiança fornecido por Marsh não trata a coleta de recomendações fornecidas por outros agentes; ele apenas modela a confiança direta entre dois agentes. O cálculo do risco é tratado com base nos custos e benefícios. A tomada de decisão é baseada em limiares. Entre outros parâmetros, o limiar de cooperação depende da percepção do risco e da competência do parceiro em uma possível interação. Se a confiança situacional estiver acima do valor calculado para o limiar de cooperação, outra forma de cooperação pode ocorrer. Além disso, a tomada de decisão pode ser estendida pelo conceito de reciprocidade, isto é, se alguém faz um favor a outro, espera-se compensar em algum momento.

O modelo MANDALA (JOSANG e PRESTI, 2004), discute conceitos de risco e confiança e calculam o nível de risco nas transações. A utilidade é calculada para expressar as preferências

persoais de um agente como uma função linear de probabilidades. Em primeiro lugar é calculado o ganho esperado da transação e ilustrado em exemplos. Se este fator de transação não for suficiente para determinar a escolha sobre efetuar ou não a transação, então é introduzida uma fração de capital que um agente está disposto a arriscar. O modelo mostra como a atitude de risco dos agentes pode ser modelada e avaliada em uma transação particular. Este trabalho é uma tentativa de integrar dois aspectos importantes do processo de decisão, risco e confiança, embora não seja especificado um modelo matemático.

Lu et al., (2009), propõem uma classificação dos elementos que compõem a confiança. Entre os elementos, os autores definem a incerteza como um incidente acidental e a mudança de ambiente. Pressupõem que a confiança tem como base, um tipo de cálculo matemático.

Shehadaa et al., (2018) propõem um modelo de confiança e reputação para MAS. O modelo fornece meios para tomar a decisão com qual prestador de serviço interagir. Ele combina avaliações de experiências de testemunhas diretas e indiretas. Avalia a honestidade das testemunhas para filtrar falsas avaliações. Além disso, novas abordagens de “incentivo e penalidade” e “segunda chance” são incorporadas ao modelo para motivar um comportamento honesto e acomodar mudanças no sistema.

Quase todas as abordagens numéricas usam métodos estatísticos para calcular a confiança, tais como: probabilidades Bayesianas (TEACY et al., 2012; FANG et al., 2012), lógica *nebulosa* (SCHILLO et al., 2000), distribuição de probabilidade (SEM e SAJJA, 2002) e funções de Dempster-Shafer (LIU et al., 2012). Técnicas de Aprendizagem de Máquina, como o trabalho de You (2007), que utiliza algoritmo de reputação e aprendizagem por reforço para auxiliar a tomada de decisão.

Outros modelos apresentam características relacionadas a arquiteturas numéricas, tais como: (VENANZI et al., 2011); Fang et al., (2013); Li et al., (2015); Riswaraj et al., (2016) e Khaqqi et al., (2018). Não menos importantes são os modelos cognitivos descritos a seguir.

## **Modelos Cognitivos**

Entre os primeiros modelos cognitivos que surgiram, destaca-se a proposta de Falcone e Castelfranchi, (2001). O trabalho contribui na definição do termo confiança e sua importância do ponto de vista de um agente. O fato de confiar implica em apostar em algum tipo de risco (LUHMANN, 1979). Quando *A* confia em *B* existem dois tipos de riscos: o risco de falhar e o risco de desperdiçar esforços. *A* não corre o risco apenas de perder (ganho), mas também se arriscar a desperdiçar seus investimentos (perda). Com relação às falhas, pode haver também danos adicionais como efeito de falha, efeitos colaterais negativos. Neste contexto, confiar e apostar em *B* pode aumentar a dependência de *A* em *B* (DEUTSCH, 1973). O ato de confiar é uma aposta real, uma

atividade que envolve risco: pressupõe logicamente alguma incerteza, mas também requer alguma previsibilidade de  $B$ , e geralmente algum grau de confiança em  $B$ .

Patrick A. (2002), propôs um modelo cognitivo, no qual os fatores determinam a aceitação do agente com base em experiências passadas sobre as atitudes de usuários em transações de comércio eletrônico. Os sentimentos de confiança e percepções de risco são combinados em sentidos opostos para determinar aceitação final de um usuário sobre um agente. Sentimentos de confiança e risco são estabelecidos de forma independente e juntos eles determinam o sucesso do agente. A confiança contribui para a aceitação de algo, enquanto que o risco contribui para a sua rejeição. Os dois fatores interagem, de modo que os participantes com baixo grau de confiança ainda podem ter sucesso se o risco percebido for baixo.

Ramchurn et al., (2004) apresentam uma abordagem institucional composta por agentes fortes e fracos. Os agentes fortes representam instituições legais ou o governo e têm mais credibilidade do que os agentes fracos, tais como pequenas empresas ou indivíduos. O risco depende da atitude do agente em cumprir ou negar seus compromissos em uma determinada interação. O cálculo do risco é dado por funções de utilidade que maximizam o risco.

Venanzi et al., (2011) propõem um ambiente cognitivo aberto administrado por agentes com objetivos próprios para entrar ou sair do sistema. Os agentes interagem de forma múltipla, as condições de contexto são incertas e os resultados são imprevisíveis. Possuem habilidades para coordenar as atividades e delegar tarefas. Tem capacidade para avaliar interações de confiança, reduzem o risco de falhas e promovem os resultados mais desejáveis.

Outros modelos apresentam características relacionadas a arquiteturas cognitivas, tais como: (NEVILLE e PITT, 2004); (SINGH, 2011); (PIUNTY, 2012) e (PINYOL e SABATER, 2013).

### **3.5.3 Fontes de informação**

As fontes de informação são técnicas utilizadas pelos modelos para extrair dados do ambiente ou de outros indivíduos com a finalidade de calcular valores de confiança. Como apresentado por Sabater e Sierra (2005), Granatyr et al., (2015) e Braga et al., (2018), existem diversas maneiras para executar essa tarefa, as quais dependem do contexto e do tipo de aplicação. Alguns exemplos são: (i) interação direta, (ii) observação direta, (iii) informações de testemunhos, (iv) informações sociológicas, (v) preconceito, (vi) reputação certificada e (vii) regras. A seguir cada uma dessas abordagens será explicada, com exceção de informações sociológicas e regras por não dispor de aplicações com esse tipo de tarefa em risco.

## 1) Experiências Diretas

A **interação direta** é caracterizada mediante a necessidade de interação direta de indivíduos, recebendo no final a avaliação dessa interação (SABATER; SIERRA, 2005). Por exemplo, um comprador precisa primeiro comprar um produto de um vendedor, para somente depois ser capaz de avaliar a transação; e conseqüentemente, o vendedor. A interação direta é considerada uma das mais relevantes fontes de informação, porém, são necessárias muitas interações para obter um grande número de avaliações e pode tornar inviável ou trazer grandes riscos em interações de grande escala. Outro aspecto relevante é a tendência de um sistema multiagente ser uma organização aberta, nesse caso utilizar somente a interação direta deixa o sistema vulnerável. Alguns exemplos de modelos que fazem uso somente da interação direta é Marsh (1994), Griffiths, (2005) e Hercock, (2007).

Na **observação direta** a informação vem do agente que calcula a confiança, por isso são considerados modelos de confiança com maior precisão (Sabater, 2003). Um ponto crítico desse tipo de fonte de informação é a dependência da constante interação dos agentes para manter-se atualizados. Em sistemas de larga escala, é difícil manter um nível de interação relevante com todos os agentes da comunidade. Além disso, durante a fase exploratória, os agentes podem realizar péssimas interações com agentes desconhecidos (BOTELHO, 2009).

Alguns exemplos dessas experiências são: quantidade de avaliações, porcentagem de votos positivos recebidos, análise do conteúdo de mensagens e resultados de contratos. Os modelos de Rehák et al., (2005) e Zheng et al., (2006), apresentam funções de utilidades usadas para mensurar interações passadas, avaliar e selecionar parceiros. Schillo et al., (2000), apresentam um modelo com observação direta para ser compartilhada entre agentes em cenários de negociação em *e-commerce*. Exemplos de modelos que implementam essas técnicas: (JOSANG e PRESTI, 2004); (SIERRA e DEBENHAM, 2005); (RETTINGER et al., 2008); (KLEJNOWSKI et al., 2010) e (SERRANO et al., 2012).

## 2) Testemunha

A fonte de informação relativa à testemunhos é utilizada quando o usuário não possui informações de interações diretas e necessita consultar outros membros da comunidade para obter informações sobre o usuário, os quais já tiveram interações diretas com ele anteriormente (BORGES et al, 2015). Este processo é também chamado de reputação, pois é calculado pela agregação da opinião dos outros (SABATER e SIERRA, 2005). Embora muitos modelos de confiança e reputação considerem informação-testemunha, poucos modelos utilizam tal informação para estimar o risco por meio de um paradigma numérico ou cognitivo. Na literatura encontram-se dois tipos de fontes de informação nesta categoria: (i) a transmissão simples de avaliações de testemunhos e (ii) recomendações ou

opiniões. No primeiro caso, diversos agentes são consultados, sendo emitidos relatórios de testemunhos, todavia os agentes provedores das informações não são avaliados.

Informações testemunhas podem influenciar não só nos níveis de confiança, como nas relações de risco, por meio de recomendações ou opiniões. Esse tipo de avaliação prevê o relacionamento apenas com agentes confiáveis em uma rede de relacionamento construída pelo próprio agente (MONTANER et al., 2002). Assim, pode caracterizar uma oportunidade para calcular o risco das interações entre clientes e provedores. Essa afirmação pode ser embasada nas discussões de Borges et al., (2015) apresentam um modelo de reputação por *Dossiê*, que confere a autenticidade e confiabilidade às informações trocadas com seus participantes. O método é a garantia do *feedback* legítimo por meio de criptografia assimétrica, no qual agentes mal-intencionados não conseguem alterar as recomendações no dossiê para se beneficiar indevidamente. Igualmente Bedi et al., (2007) e Song et al., (2004) salientam a importância de considerar a recomendação em sistemas que buscam informações sobre produtos ou serviços para usuários com base na informação de outros.

Alguns modelos de confiança e reputação que simplificam e empregam esse tipo de informação testemunha são: *BRS* (JSANG e ISMAIL, 2002); *TRUMMAR* (DERBAS et al., 2004) e *TRAVOS* (TEACY et al., 2006).

Fundamentado nessas premissas, a recomendação de outros provedores embasado em testemunhos pode contribuir para o desenvolvimento de modelos de reputação e risco, pelo fato de auxiliar a encontrar parceiros de maior confiabilidade.

### 3) Reputação Certificada

De forma similar às informações de testemunhos, a reputação certificada ocorre quando o usuário avaliado possui uma lista de outros agentes que podem testemunhar sobre ele. Quando um agente *A* avalia um agente *B*, *B* armazena localmente uma referência de *A* como sua testemunha e armazena avaliação feita por *A*. Caso outro agente queira interagir com as testemunhas de *B* basta fazer uma consulta direta a *B*. A reputação certificada serve de atalho para conseguir, com poucas interações, um conjunto relevante de testemunhas capazes de mensurar a reputação do agente avaliado (HUYNH et al., 2004; HUYNH et al., 2006). Em outras palavras, a reputação certificada pode ser considerada como uma carta de recomendação que um empregador escreve sobre um empregado; desta forma, o empregado registrará a recomendação do empregador que conterá todas as informações (HUYNH et al., 2006). Sempre que alguém requisitar informações, o empregado pode utilizar a carta ou o conjunto de cartas contendo as recomendações.

O modelo FIRE (Dong-Huynh et al., 2004) distingue-se por apresentar grande diversidade de fontes de informação e também implementa a reputação certificada como parte do cálculo da confiança dos agentes. Embora utilize reputação certificada, não integra outras fontes de informação.

Em Botelho et al., (2009) e Botelho et al., (2011) ampliam o conceito de reputação certificada. Os modelos propõem ao agente avaliado armazenar as referências das suas testemunhas e as avaliações recebidas por elas. O mecanismo calcula a reputação com uma única consulta ao agente avaliado. Utiliza recursos de criptografia e assinatura digital para evitar fraudes. Borges et al., (2015) propõem uma evolução do modelo de reputação certificada de Botelho et al., (2011) para garantir a veracidade dos testemunhos obtidas.

Esta pesquisa utiliza os conceitos de reputação certificada proposto por (BOTELHO et al., 2011; BORGES et al., 2015) para auxiliar a encontrar agentes honestos e calcular o risco de interação entre eles.

#### **4) Informação Sociológica**

A fonte de informação sociológica é relativa ao relacionamento social dos usuários e seus papéis na comunidade e requer a análise de redes sociais para sua operacionalização. Alguns conceitos utilizados por modelos são o uso de sociogramas e estruturas baseadas em amizade, familiaridade e camaradagem (SUTCLIFFE e WANG, 2012; LIU e DATTA, 2012). Outra abordagem utilizada é a definição de comunidades confiáveis, que são compostas por usuários confiáveis entre si. Desta forma, esperam-se altos níveis de confiança para membros pertencentes ao mesmo grupo (DERBAS et al., 2004).

Um dos modelos que usa os conceitos de informação social é o Regret (Sabater e Sierra, 2003). O trabalho utiliza grafos, tais como sociogramas para indicar a relação entre os agentes. Os sociogramas agrupam agentes e obtêm informações daqueles que são mais representativos, composto por elos entre as vizinhanças.

Os modelos de Sutcliffe e Wang, (2012), Liu e Datta, (2012) e expõem a forma como o processo de formação de confiança é alcançado ao utilizar estruturas sociais com base na amizade, familiaridade e companheirismo. O trabalho de Klejnowski, (2010), sugere o conceito de comunidade confiável, utilizam agentes adaptativos, e presumem um alto grau de confiança dos membros pertencentes à comunidade. Da mesma forma, TRUMMAR (Derbas et al., 2004) coleta informações ao empregar hierarquia de confiança formada por estranhos, amigos e vizinhos. Similarmente, Li et al., (2007) propõem uma rede de agentes para localizar evidências que possam fornecer referências à seleção de parceiros.

DiffTrust (FANG et al., 2013), considera a identidade e a posição do agente na rede social como fatores relevantes. Em Salehi-Abari, (2012) os agentes exercem diversos tipos de papéis sociais e o julgamento baseia-se nesses papéis, bem como o relacionamento com outros papéis utilizados no ambiente.

## 5) Preconceito

A fonte de informação preconceito diz respeito a um conjunto de atributos com o objetivo de identificar um indivíduo como membro de um grupo, tais como cor da pele, crenças religiosas, locais de trabalho anteriores, qualificações educacionais, atividades de lazer, gênero, idade, localização, aspectos culturais, linguagem, nacionalidade, moralidade, dentre outros (SABATER; SIERRA, 2005; MOKHTARI et al., 2011). Este comportamento é parecido com a percepção humana e permite inicializar a confiança quando nenhuma outra informação está disponível.

Burnett et al., (2013), propõem a observação de características dos agentes para construir um estereótipo, utilizado quando as informações diretas ou indiretas não estão disponíveis. Tais atributos são construídos de acordo com a experiência do agente ao executar determinadas tarefas associadas a técnicas de Aprendizagem de Máquina. De forma similar Liu e Datta, (2012) aplicam o conceito de perfil do agente e coleta de dados básicos de indivíduos, tais como idade, gênero e localização. O trabalho de Mokhtari et al., (2011) considera os aspectos culturais, língua, nacionalidade e moralidade para avaliar o agente.

O modelo Regret (SABATER e SIERRA, 2003), inclui na abordagem o conceito de reputação do sistema e propõe a análise de redes sociais entre os indivíduos em uma sociedade. Utiliza sociogramas para representar as diferentes relações sociais e são obtidos por meio da opinião pública e entrevistas com indivíduos. Ao ser incluído em cada agente, eles analisam as relações a partir de sua própria perspectiva e usam o conhecimento que tem sobre o ambiente. Portanto, os sociogramas são dinâmicos e dependentes de agentes.

### 3.5.4 Suposição de comportamento

Esta dimensão também é conhecida como detecção de fraude. Está relacionada à capacidade do modelo identificar fraudes nas comunicações (SABATER e SIERRA, 2005). Esta dimensão é classificada em três níveis de suposição: (i) Nível 0: está relacionado a modelos que não consideram informações fraudulentas e não apresentam mecanismos para filtrar agentes maliciosos; (ii) Nível 1: considera que os agentes podem omitir informações para obter algum tipo de benefício ou evitar alguma penalidade, porém eles não mentem; e (iii) Nível 2: relaciona-se com modelos que supõe que os agentes podem omitir e também mentir em comunidades abertas.

Vogiatzis et al. (2010) em seu modelo propõe o Nível 1, que caracteriza-se por tratar informações tendenciosas ou incompletas. Para não perder dados importantes no cálculo de confiança, o modelo aplica a técnica de aprendizagem bayesiana para analisar testemunhos e compará-los contra as demais interações dos agentes. Por outro lado, Tong et al., (2009), aplica o Nível 2 e inclui agentes com tendência a mentir. Empregam um mecanismo para lidar com

mentirosos utilizando informações personalizadas do agente. Das e Islam, (2012) afirmam que bons agentes sempre enviam informações verdadeiras e que agentes ruins sempre enviam informações falsas. No entanto, em um cenário real — onde os agentes atendem os seus interesses, bons agentes podem transmitir dados falsos a seus concorrentes, e agentes ruins podem ocasionalmente enviar informações confiáveis para ocultar sua verdadeira natureza. Com base nestas informações, o modelo apresenta uma função de similaridade para identificar relatos falsos que levam em conta a credibilidade do agente.

Teacy et al., (2006) propõe calcular a probabilidade para estimar se as informações enviadas por um agente são verdadeiras. O modelo compara os resultados das interações anteriores com as informações atuais. Se não houver semelhança, a chance do relato ser falso é maior. O modelo de Liu et al., (2012) compara a avaliação de recomendações com as suas próprias opiniões. De acordo com a semelhança nas recomendações e opiniões, o agente decide se considera a importância da informação recebida.

Alguns exemplos de modelos que tem seu foco nessa dimensão é o *TRAVOS* (TEACY et al., 2006); o *iCLUB* (LIU et al., 2011); o *SecuredTrust* (DAS e ISLAM, 2012) e o *DiReCT* (ABOULWAFI e BAHGAT, 2012).

### 3.5.5 Preferências

A dimensão preferência está relacionada à definição de pesos para cada atributo dependendo da necessidade do modelo (ALJAZZAF et al., 2010). Por exemplo, no modelo de Koster e Sabater, (2011) foi implementado um sistema de prioridade no qual é possível definir os aspectos mais importantes baseados em objetivos; ou seja, se o preço é mais importante que o tempo de entrega, uma regra é criada para atender essa necessidade. Em alguns modelos, tanto o risco como a confiança é medida usando apenas um valor para indicar a confiabilidade. Quando há multiplicidade de valores é feito a conversão de um único valor de confiança para uma média composta por vários fatores e pode implicar em perdas (LU et al., 2009; ALJAZZAF et al., 2010). Da mesma forma Griffiths (2005), utiliza em seu modelo uma função de ponderação para escolher quais atributos são mais representativos na delegação de tarefas, tais como: qualidade, custo e sucesso.

A dimensão semântica se destaca em modelos que permitem a seleção de preferências. O modelo DiReCT (Aboulwafi e Bahgat, 2012) avaliam as recomendações de suas próprias opiniões. Dependendo da semelhança nas recomendações e opiniões, o agente decide se considera importante a informação recebida. O modelo permite o usuário ajustar os pesos das preferências às interações diretas e informações de testemunhas de um determinado contexto. Quando o peso das informações diretas não é suficiente o sistema privilegia com peso maior, isto é, o testemunho.

O modelo Khosravifar et al., (2012), permite ao agente escolher o peso por meio de preferências entre interações recentes e antigas. Wang et al., (2008), propõem um mecanismo em que os agentes podem personalizar seu comportamento com base no risco de interação. Por último, o modelo de Montaner et al., (2002), propõe um modelo de confiança e utiliza sistemas de recomendação. O sistema permite os agentes estabelecer preferências sobre produtos de acordo com as necessidades do usuário.

De uma forma geral, a dimensão preferências é um tipo de informação possível de ser gerenciada internamente pelo próprio agente. Sendo assim, ao modelar um sistema multiagente, é interessante incluir algum tipo de mecanismo que facilite identificar quais são as prioridades do sistema e as preferências do agente. Uma possibilidade é utilizar uma ontologia que represente as preferências dos agentes. Tal mecanismo pode facilitar o compartilhamento desse tipo de conceitos com o restante da comunidade de agentes. Como pode ser observado, na maioria dos modelos que utiliza preferências, aparece a multidimensionalidade (WANG et al., 2008; AL JAZZAF et al., 2010; BURNET et al., 2011).

Outros exemplos de modelos que implementaram preferências são o MDT (GRIFFITHS, 2005); FOCET (MOKHTARI et al., 2011); CRM (KHOSRAVIFAR et al., 2012) e BLOCKCHAIN (KHAQQI et al., (2018).

### 3.5.6 Confiança inicial e ambiente aberto

No entendimento de DuPreez (2009), a confiança é composta por algumas fases distintas, começando com a definição da confiança inicial até a sua dissolução no decorrer do tempo. Aljazzaf et al., (2010) argumentam que é necessário inicializar o valor inicial de confiança de um usuário que recém entrou no sistema, de modo que não prejudique o próprio usuário pelo fato de ainda ninguém ter interagido com ele. De modo similar, outros usuários também não devem ser prejudicados pelo novo usuário caso se trate de um agente malicioso. Por isso, algumas das técnicas comumente utilizadas neste cenário usam Aprendizagem de Máquina para a construção de um estereótipo do usuário com base em suas características (fonte de informação de preconceito).

Por outro lado, a prestação de serviços *online* geralmente incide entre partes que nunca fizeram transações entre si, em um ambiente em que o cliente geralmente possui informações insuficientes sobre o provedor e sobre os bens e serviços oferecidos. Isso obriga o cliente a aceitar a rapidez do desempenho anterior, i.e., pagar serviços e bens antes de vê-los, o que pode deixá-lo em uma posição vulnerável (JOSANG et al., 2010). Nesta situação o cliente não tem oportunidade de ver ou experimentar o produto. Sendo assim, o cliente não sabe o que vai receber. As ineficiências resultantes dessa assimetria de informações são mitigadas por meio do risco, que permite o cliente saber qual o tipo de risco que está correndo antes de contratar um provedor. O cliente utiliza um

mecanismo de confiança e reputação como ferramenta de apoio para diminuir os riscos. A ideia é que mesmo que o cliente não experimente o produto ou serviço com antecedência, risco, confiança e reputação podem fornecer mais segurança de que será o que ele espera.

Huynh, (2004) propõe três características necessárias para diminuir o risco das interações em modelos que operam com agentes em ambiente aberto: (i) utilização de diferentes fontes de informação, (ii) descentralização em que, cada agente possui seu próprio mecanismo de avaliação e (iii) ser robusto com agentes mentirosos, porquê cada um age conforme seus interesses.

Entre os modelos que utilizam a classificação de Huynh, (2004) destacam-se: Teacy et al., (2008); Liu e Datta, (2012) e Teacy et al., (2006). FOCET (Mokhtari et al., 2011) representa um contexto por meio de ontologias, e os agentes são capazes de definir pesos para ajustar as mudanças ambientais. Povey, (1999) utiliza ambiente aberto para explorar modelo de confiança e considera o risco de forma explícita. Similarmente, estudos que combinam risco e confiança incluem Manchala (Daniel et al., 1998) e Josang e Lo Presti, (2004). Manchala evita expressar de forma explícita medidas de confiança e desenvolve um modelo em torno de outros elementos que utilizam valores de transação e o histórico de transações da parte confiável. Josang e Lo Presti, (2004) distinguem fidelidade de confiabilidade e decisão de confiança e desenvolve um modelo matemático de decisões de confiança com base em primitivas, valores de utilidade e a atitude de risco do agente confiante.

Outros modelos utilizam informações de contexto em ambientes abertos, tais como: Wang et al., (2008); Rettinger et al., (2008); Hermoso et al., (2010); Liu e Datta, (2012); Zuo e Liu, (2017) e Shehada et al., (2018).

### **3.5.7 Medidas de risco**

Similarmente, os cálculos que dizem respeito aos riscos estão diretamente relacionados à delegação, pois de acordo com Lu et al., (2009), é necessário utilizar estimativas de risco nos modelos de confiança e reputação para (i) monitorar mudanças no ambiente e (ii) calcular o impacto de risco antes de escolher um agente para delegar uma tarefa. Dois exemplos são os modelos de Wang et al., (2008) e Ramchurn et al., (2004): o primeiro apresenta funções de utilidade baseada na confiança e na atitude individual para mensurar o risco antes de interações, o segundo desenvolve funções que estimam o grau de utilidade e fornecem parâmetros para o agente tomar a decisão quanto a perdas ou ganhos nas interações.

Balakrishnan e Majd, (2013) compararam e analisaram alguns modelos de confiança recentes com base em cinco componentes importantes devido o papel que desempenham no contexto: arquitetura, dimensão, confiança inicial, reputação e risco. Os resultados gerais indicam risco e confiança inicial como componentes mais fracos, enquanto as dimensões, reputação e arquitetura são componentes fortes dos modelos de confiança existentes.

O trabalho de Griffiths, (2005) descreve como a confiança baseada na experiência pode ser usada para minimizar o risco associado à cooperação. Em particular, propõe um mecanismo chamado de confiança multidimensional e permite aos agentes, modelar a confiabilidade de outros de acordo com vários critérios. Essa informação de confiança é combinada com outros fatores para permitir a seleção de parceiros cooperativos. As preferências dos agentes são representadas por um conjunto de ponderações de fatores, isso é feito para permitir que a informação de confiança seja adaptada às atuais prioridades de cooperação.

Rehák et al., (2005) pesquisam uma abordagem em que um agente precisa organizar uma coalizão. A partir disso, ele identifica um subconjunto de agentes confiáveis, calcula a utilidade dos agentes e usa conhecimentos sociais no modelo de conhecimento. A utilidade de cada agente é multiplicada pela confiabilidade dele para explicar a disposição e os candidatos são ordenados por esse valor. Neste contexto, os candidatos aceitáveis são convidados a formar uma coalizão e a noção de risco é incluída por meio de técnicas de classificação difusa.

Ono e Williams, (2013) estudam um controlador de sistema dinâmico, tal como um robô móvel em ambiente aberto, porém precisam ajustar o *trade-off* entre risco e recompensa. Dessa forma, propõem uma abordagem de otimização em dois estágios: o estágio superior otimiza a alocação de risco e o estágio inferior, calcula a sequência de controle ótimo e maximiza a recompensa. Em outro processo, Ono e Williams, (2010) propõem o algoritmo MIRA (*Market-based Iterative Risk Allocation*). O administrador otimiza a sequência de ações e a alocação de risco entre restrições de estado. Destacam o risco como um recurso e utilizam como oportunidade de negócio no mercado computacional. O preço de equilíbrio do risco que regula a oferta e demanda é encontrada por um processo de ajuste de preços iterativo chamado *tâtonnement* (também conhecido como leilão Walrasian).

Su et al., (2013) propõem o modelo de confiança baseado em prioridade. O modelo deriva a confiabilidade de prestadores de serviço na condição de árbitros, designados pelo seu desempenho histórico. Nesse contexto, o consumidor pode especificar preferências, o que implica no resultado da avaliação de confiança do prestador de serviço. O cálculo da confiança considera o desempenho dos provedores e monitora o risco para não selecionar provedores com baixas taxas de sucesso, evitando assim, risco elevado na entrega de serviços.

O nível de confiança tem uma relação inversa aproximada com o grau de risco em relação a um serviço ou a uma transação de comércio eletrônico (KONRAD et al, 1999; POVEY, 1999), mas há poucos trabalhos que usam *frameworks* de gerenciamento de risco para gerenciamento de confiança ou na análise da relação exata entre risco e confiança (GRANDISON e SLOMAN, 2000), como dito anteriormente, a dimensão risco tem sido utilizada em modelos de confiança e reputação muito mais como um mecanismo de apoio do que um recurso de mensuração (YU et al., 2013 e BRAGA et al., 2018).

Nesse trabalho a dimensão risco é utilizada como ferramenta principal na interação entre agentes, pois permite a eles operar em ambiente aberto e utilizar a confiança e reputação para auxiliar a tomada de decisão.

### 3.5.8 Visibilidade

Referem-se aos aspectos de implementação e particularidades, não é relacionada diretamente a aspectos arquiteturais ou de projeto (GRANATYR et al., 2015; BRAGA et al., 2018). Na dimensão visibilidade, a confiança pode assumir duas formas: (i) ser uma propriedade global acessível a todos; ou (ii) ser uma propriedade local, privada e subjetiva que cada agente trabalha de forma individual, para si (Pinyol e Sabater, 2013). A visibilidade é uma dimensão explorada por (SABATER e SIERRA, 2005). Apesar das várias nomenclaturas utilizadas (e.g. individual, global, centralizado, descentralizado ou local), os termos são similares.

No modelo de Ramchurn et al., (2004), a confiança de nível individual parte da crença local de cada agente sobre a honestidade ou reciprocidade de outrem. Utiliza como ponto de partida, as interações entre seus parceiros. A confiança no sistema é definida por meio de mecanismos, regras e protocolos regulados de forma global pelo sistema. Lu et al., (2009) definem dois tipos de abordagens: centralizada e distribuída. Na primeira abordagem, as avaliações dos agentes são armazenadas, classificadas e recuperadas a partir de um serviço central, enquanto que na segunda abordagem os agentes realizam as tarefas.

Dellarocas, (2003), argumenta que modelos de confiança globais são utilizados em sistemas para Internet, no qual há uma diversidade infinita de usuários e a chance de haver interações repetidas são raras. Sendo assim, reduz as possibilidades de os agentes cooperarem baseados na expectativa de construir um relacionamento vantajoso. Um sistema de compras *online* permite múltiplos compradores e vendedores. Por exemplo, as experiências pessoais acumuladas de compradores de sapato não possuem utilidade para compradores de computador. Modelos de confiança global medem a eficiência baseando-se nas opiniões dos indivíduos, pois reduz o risco de posicionamento isolado ou tendencioso, pois estatisticamente esse tipo de percepção pouco contribui com o resultado.

Há modelos que consideram a confiança como uma propriedade subjetiva. Cada agente usa sua experiência pessoal e as experiências compartilhadas por outros agentes, além de outras fontes de informação, tais como informações sociais e preconceito. De uma maneira geral, esses modelos são indicados para indivíduos que interagem com frequência, devido a construção de laços fortes entre eles (SABATER e SIERRA, 2005).

Entre os sistemas que utilizam propriedade global, destacam-se: Jurca e Faltings, (2003); Jelenc e Trcek (2014); Monteserin e Amandi, (2015); Majd e Balakrishnan, (2015); Shehada et al., (2018) e Calvaresi et al., (2018).

### 3.5.9 Segurança de informação

Essa dimensão está relacionada a mecanismos tradicionais de segurança e está diretamente relacionado a conceitos como identidade, integridade, privacidade e autenticidade; normalmente implementados por meio de técnicas de criptografia e políticas de acesso (RAMCHURN et al., 2004). O objetivo dessa dimensão é prover os modelos com a camada de segurança já existente em sistemas distribuídos para aumentar a proteção (ABOULWAFa e BAHGAT 2010).

Grandison e Sloman, (2000) propõem cinco categorias de confiança baseadas na segurança da informação: acesso a recursos, prestação de serviço, entidades certificadoras, delegação de tarefas e infraestrutura. Blaze et al., (1999) e Finin e Joshi (2002), argumentam que as técnicas de segurança usadas em sistemas distribuídos não são totalmente adequadas para um sistema multiagente porque um sistema distribuído não tem a mesma flexibilidade de um sistema baseado em agentes.

DiReCT (Aboulwafa e Bahgat, 2010), é o modelo que melhor se adapta a essas necessidades, apresentando um mecanismo completo composto por credenciais e permissões para um sistema multiagente. Ao receber uma recomendação, compara a avaliação recebida com o seu ponto de vista. Dependendo da similaridade na comparação, o agente pode ou não considerar a informação recebida. Por outro lado, Grandison e Sloman, (2000) propõem cinco categorias de confiança baseadas na segurança da informação:

- i. Acesso a recursos: cada registro identificável deve ser controlado por uma lista de acesso nomeado por um administrador. O sistema deve impedir de alguma forma o acesso a registros por quem não estiver na lista de controle de acesso (KUMAR e PRADHAN, 2016).
- ii. Prestação de serviço: a confiança de um indivíduo em outro na prestação de um determinado serviço.
- iii. Entidades certificadoras: quando há responsabilidade essencial de verificar se o titular do certificado possui chave privada e corresponde à chave pública que faz parte do certificado. Cria e assina digitalmente o certificado do assinante, onde o certificado emitido pela Autoridade Certificadora representa a declaração da identidade do titular, que possui um par único de chaves (pública/privada).
- iv. Infraestrutura: A infraestrutura é parte essencial para evoluir a segurança para outros níveis de serviço. Um requisito fundamental é a confiança do indivíduo na infraestrutura

que está utilizando. A relação entre indivíduo e infraestrutura deve ser capaz de abonar credibilidade nas estações de trabalho de uma organização, redes locais e servidores.

- v. Delegação de tarefas: A delegação geralmente envolve a aceitação de que o agente delegado terá algum grau de autonomia na seleção do método pelo qual uma tarefa será realizada. Ao confiar em outros, os agentes colocam seus próprios interesses em risco, o que introduz a necessidade de confiança (CASTELFRANCHI et al., 2006).

Braga et al., (2018), mencionam a forma como os modelos nessa dimensão destacam a seleção de bons parceiros quando se trata de delegar tarefas e monitorar tarefas em andamento. Em geral, quando se trata de delegar tarefas, os modelos evidenciam avaliações precisas de confiabilidade relacionadas à potenciais parceiros nas interações. Entretanto, é dado menos atenção ao problema de tomar decisões sobre quem (e se) confiar, dado os riscos, recompensas e custos associados à confiança (CASTELFRANCHI e FALCONE, 1998). Na delegação de tarefas, identificou-se que a grande maioria dos trabalhos avalia apenas a confiança e poucos modelos em delegação de tarefas priorizam o risco (CALVARESI et al., 2018a).

Entre os trabalhos que consideram risco na delegação de tarefas, Burnett et al., (2011), discutem o processo pelo qual uma organização decide qual administrador vai delegar determinadas tarefas e o risco que representa a interação. O estudo propõe uma função de pagamento e especifica a compensação que o agente terá dependendo do resultado da tarefa delegada. Os agentes podem definir cinco estratégias diferentes para delegar, tais como: delegação simples, delegação monitorada, delegação não monitorada, delegação de incentivos com reputação e retirada de delegação. Similarmente Burnett et al., (2012), definem um *framework* comum que descreve agentes em uma sociedade multiagente e as tarefas que podem desempenhar. O modelo avalia crenças subjetivas ou opiniões sobre a confiabilidade dos indivíduos em relação a diferentes questões, com base em evidências.

O trabalho de Venanzi et al., (2011), combina experiências subjetivas com o uso de categorias abstratas e categorias de raciocínio. O modelo MDT (Griffiths, 2005), especifica a delegação de tarefas em um cenário de computação em rede. Cada agente tem um conjunto de capacidades visíveis para os outros e um conjunto de tarefas que devem ser realizadas usando a cooperação. O objetivo é determinar o melhor parceiro para delegar uma tarefa com base nas preferências, risco e capacidades do agente.

### 3.5.10 Granularidade

A granularidade está relacionada à maneira como o modelo utiliza informações já existentes no contexto para os cálculos de confiança, sendo classificado como não dependente de contexto ou dependente de contexto (LU et al., 2009). Modelos pertencentes à primeira categoria não utilizam

informações do ambiente ou variáveis específicas de um domínio, sendo considerados multicontexto e podem ser utilizados em diversos cenários. Por outro lado, modelos que dependem de contexto são associados a cenários particulares nos quais os valores de confiança precisam de um contexto específico para ser calculados. Modelos que são desenvolvidos para domínios específicos também entram nesta categoria (SABATER e SIERRA, 2005).

Burnett et al., (2012) argumentam que em sociedades humanas dinâmicas, os processos estereotipados são cruciais para fornecer confiança, para assumir riscos iniciais, pois eles estabelecem as bases para a formação de confiança. Wang et al., (2008) consideram as informações de contexto para avaliar a confiança dos agentes em ambiente aberto. Para obter maior precisão, combina risco e confiança.

A partir dos modelos pesquisados que serviram de base para a fundamentação teórica desta tese, é feito a seguir a classificação das dimensões dos modelos de risco, confiança e reputação. Essa análise permite identificar lacunas para a construção do modelo genérico de risco apresentado no Capítulo 4.

### 3.6 Análise de Trabalhos Seleccionados

Nesta pesquisa foram utilizados 84 trabalhos como fundamentação teórica. Esses estudos procuram trazer novas perspectivas a problemas em sistemas multiagentes. Nesse contexto, os modelos propõem novas abordagens ou melhorias em modelos já existentes. A Tabela 5 apresenta as dimensões que cada um dos trabalhos explora, bem como um resumo comparativo destes trabalhos.

Tabela 5. Comparativo dos modelos de confiança, reputação e risco.

MODELOS	PAR	FI	SC	PF	CI	AB	MR	VI	SI	GR
Marsh, (1994)	N	ID	0	-	-	-	√	L	ST	U
Rahman e Hailes (2000)	N	ID+TE	2	-	-	√	-	L	ST	M
Schillo et al. (2000)	N	ID+OD+TE	2	-	-	√	-	G	ST	M
Castelfranchi e Falcone 2001	C	-	0	-	-	-	√	G	DE	U
Montaner et al. (2002)	N	TE	0	√	√	-	-	L	ST	U
Carter et al. (2004)	N	TE	0	-	-	-	-	G	ST	U
Sen e Sajja (2002)	N	ID+TE	2	-	-	√	-	L	ST	U
Josang e Ismail (2002)	N	ID+TE	0	-	-	-	-	G	ST	U
Jurca and Faltings (2003)	N	ID+TE	2	-	-	-	-	L+G	EC	M
Carter e Ghorbani (2003)	C	OD	0	-	-	-	-	G	DE	U
Castelfranchi et al. (2003)	C	ID+TE+OD	0	-	-	-	-	L	DE	U
Derbas et al. (2004)	N	ID+TE+SO	0	-	√	-	-	L	ST	U
Huynh et al. (2004)	N	ID+TE+RC	0	-	-	√	-	G	EC	U
Song et al. (2004)	N	TE	0	-	-	-	-	L	ST	M

MODELOS	PAR	FI	SC	PF	CI	AB	MR	VI	SI	GR
Neville e Pitt ( 2004)	C	ID+TE	0	-	-	-	-	L	DE	M
Tran e Cohen (2004)	N	ID+TE	2	-	√	√	-	L	ST	U
Dong-Huynha et al. (2004)	N	ID+TE+ RC+SO	0	-	-	√	-	L+G	ST	M
Rehák et al. (2005)	N	OD	2	-	-	-	-	G	ST	U
Griffiths (2005)	N	ID	0	√	-	-	-	G	DE	U
Zheng et al. (2006)	N	ID+TE	1	-	-	√	-	L	ST	U
Huynh et al. (2006)	N	RC	2	-	-	√	-	G	EC	U
Sabater et al. (2005)	N+C	ID+TE	2	-	-	-	-	L	ST	U
Teacy et al. (2006)	N	ID+TE	2	-	-	√	-	L	ST	M
Regan et al. ( 2006)	N	ID+TE	2	-	√	√	-	L	ST	U
Bentahar et al. (2007)	N+C	ID+ TE	0	-	-	-	-	L	ST	U
Li et al. (2007)	N	ID+TE+ SO	0	-	-	-	-	L	ST	U
Mokhtar et al. (2007)	-	-	0	-	-	-	-	L	ST	U
Hercocock, (2007)	N	ID	0	-	-	-	-	L	ST	U
Bedi et al. 2007	N	TE, SO	0	-	-	-	-	L	ST	U
Wang et al. 2007	N	ID+TE	2	√	-	√	√	L	ST	U
Zhang et al. 2007	C	ID+TE	2	-	-	-	-	L	ST	U
You 2008	N	ID+TE	2	-	-	√	-	L	ST	U
Bertocco e Ferrari (2008)	N	TE	0	-	-	-	-	G	IN	U
Rettinger et al. (2008)	N	OD	0	-	√	√	-	L	ST	M
Khosravifar et al. (2009)	N	ID+TE	0	-	-	-	-	L	ST	U
Botelho et al. (2009)	N	RC	0	-	√	√	-	L	RC	M
Tong et al. (2009)	N	ID+TE	2	-	-	-	-	L	ST	M
Urzica, (2010)	N	ID+TE	0	-	-	-	-	L	ST	U
Klejnowski et al. (2010)	N	OD+SO	0	-	-	-	-	G	ST	M
Vogiatzis et al. (2010)	N	ID+TE	0	-	-	-	-	L	ST	U
Burnett et al. (2011)	N	-	0	-	√	√	√	G	DE	NA
Mokhtari et al. (2011)	N	ID+TE+PR	0	√	√	√	-	L	ST	U
Urzica et al. (2011)	N	ID+TE	0	-	√	√	-	L	ST	U
Teacy et al. (2011)	N	ID+TE+ OD	0	-	-	√	-	L	ST	M
Liu et al. (2011)	N	ID+TE	0	-	-	√	-	L	ST	M
Venanzi et al. (2011)	C	OD	0	-	-	-	√	G	DE	U
Koster et al. (2011)	N+C	TE	0	√	-	-	-	L	ST	U
Burnett, (2012)	N	ID+TE+PR	2	-	√	√	-	G	DE	U
Pinyol et al.( 2012)	C	ID+TE	0	-	-	-	-	L	ST	M
Aboulwafa e Bahgat (2012)	N	ID+TE	2	√	-	-	-	L	AR	U
Das e Islam, (2012)	N	ID+TE	2	-	-	-	-	L	ST	M
Khosravifar, (2012)	N	ID+TE	2	√	√	√	-	L	ST	M
Serrano et al. (2012)	N	ID+TE+OD	0	-	-	-	-	L	ST	U
Fang et al. (2012)	N	ID+TE	2	-	√	√	-	L	ST	M
Liu et al. (2012)	N	TE	2	-	-	-	-	L	ST	M
Piunti et al. (2012)	C	OD	0	-	√	√	-	G	ST	U
Liu et al. (2012)	N	ID+TE+P+SO	0	-	√	√	-	L	ST	M
Sutcliffe e Wang, (2012)	C	SO	0	-	-	-	-	L	ST	M
Burnett et al. (2013)	N	ID+P	2	-	-	√	-	-	ST	-

MODELOS	PAR	FI	SC	PF	CI	AB	MR	VI	SI	GR
Su et al. (2013)	N	ID+TE	2	√	√	√	-	L	ST	U
Wang and Gui (2013)	N	ID+TE	2	-	-	-	-	-	-	-
Fang et al. (2013)	N	ID+SO + OD	0	-	√	√	-	L	ST	U
Liu et al. (2013)	N	TE	2	-	-	-	-	-	-	-
Ahmad et al., (2014)	N	ID+TE	0	√	-	-	-	-	-	-
Adamopoulou e Symeonidis (2014)	N	TE + ID + OD	2	-	-	√	-	L	OS	M
Chang et al., (2014)	N	TE + ID + OD	2	-	√	√	√	-	OS	U
Jelenc e Trcek (2014)	N	TE + ID + OD	2	-	-	√	-	G	OS	M
Mcnally et al. (2014)	N	TE + ID + OD	0	-	-	√	-	L	ST	U
Borges et al. (2015)	N	RC	0	-	-	√	-	L	RC	M
Majd e Balakrishnan, (2015)	N	TE +ID + OD	2	-	-	-	√	G	SI	M
Monteserin e Amandi, (2015)	N	TE + ID + OD	2	-	-	-	-	G	AR	M
Zhong et al. (2015)	N	OD + SO	0	-	√	√	-	-	-	M
Li et al., (2015)	N	TE + ID	0	-	-	-	-	-	ST	U
Farooq et al. (2016)	N	TE + ID + OD	0	-	-	-	-	L	AR	U
Kumar e Pradhan, (2016)	N	TE + ID + OD	0	-	-	-	-	L	ST	U
Rishwaraj et al. (2016)	N	OD	0	-	-	-	-	L	AR	U
Zuo e Liu, (2017)	N	TE	0	-	-	√	-	L	ST	U
Janiszewski, (2017)	N	TE +ID	0	-	-	-	-	L	ST	M
Calvaresi et al., (2018b)	N	TE + ID	0	-	-	-	-	G	ST-	M
Klabi et al. (2018)	N	TE + ID + OD	0	-	-	-	-	-	ST	U
Khaqqi et al (2018)	N	TE + ID	0	√	√	-	-	-	-	-
Shehada et al., (2018)	N	TE + ID + OD	2	-	-	√	-	G	ST	U
Ebay, (2018)	N	TE	0	-	-	√	-	G	ST	M
<b>Legenda:</b>	PAR	Paradigma								
	FI	Fontes de Informação								
	SC	Suposição de Comportamento								
	PF	Preferências								
	CI	Confiança Inicial								
	AB	Ambiente Aberto								
	MR	Medidas de Risco								
	VI	Visibilidade								
	SI	Segurança da Informação								
	GR	Granularidade								

Fonte: O autor, (2018)

De acordo com a Tabela 5, foi realizada a classificação das dimensões de cada um dos modelos referenciados. O gráfico da Figura 11 apresenta o resultado das dimensões analisadas anteriormente em modelos de risco, confiança e reputação.

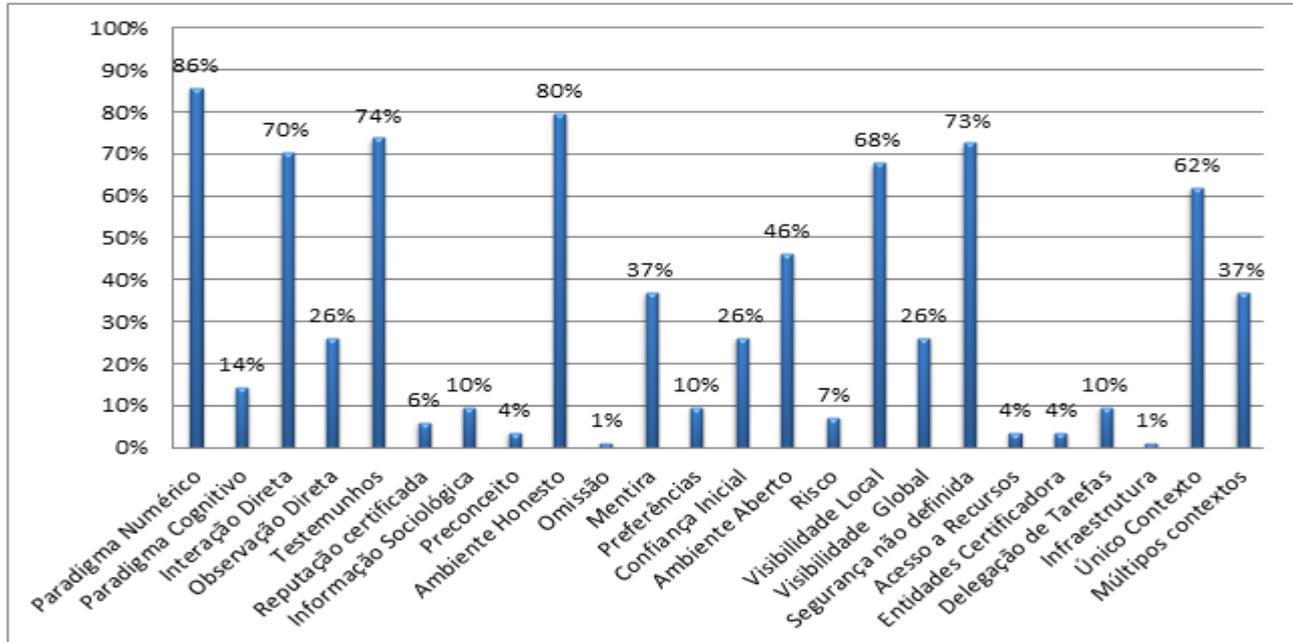


Figura 11. Representação das dimensões dos modelos analisados

Fonte: O autor, (2018)

A Figura 11 permite fazer algumas reflexões sobre o desenvolvimento de modelos de risco, confiança e reputação em sistemas multiagentes, por meio do crescente número de modelos propostos nos últimos anos. Um dos princípios básicos de sistema multiagente é a exigência de mecanismos de segurança para garantir a integridade e longevidade do sistema, desta forma é possível reduzir o risco das interações entre membros desconhecidos. A partir do gráfico apresentado, é possível fazer algumas considerações: o paradigma numérico está presente em 86% dos modelos. De uma forma geral modelos cognitivos são mais complexos para construir, porém determinadas áreas, como a econômica, financeira e administrativa necessita de valores numéricos. 74% dos trabalhos utilizam testemunhos e reforça a importância da reputação nessas áreas. A utilização apenas da interação direta coloca o sistema em risco, à medida que a comunidade de agentes se torna complexo. A visibilidade local chama atenção com 68% dos modelos por não ter controle central. Essa é uma característica forte e esperada em sistemas multiagentes.

Um resultado surpreendente é que 77% dos modelos analisados não apresentam mecanismos claros à segurança das informações e 66% supõem que os agentes são honestos. Essa possibilidade existe pelo fato de que a maioria dos modelos não é direcionada a comunidade aberta, onde o risco da interação com agentes desconhecido é elevado, ou relegam esta responsabilidade a outro campo de pesquisa. Complementarmente a estas questões consideradas, surge outra análise interessante. A dimensão preferências com 10% não é amplamente usada nos modelos. Percebeu-se também que a delegação introduzida por Castelfranchi e Falcone, (2001) foi aplicada em 10% dos modelos. Os autores argumentam que a confiança acontece em cenários de delegação, mas há poucos modelos

que utilizam a delegação de tarefas em aplicativos. Outra dimensão relacionada é a medida de risco. Essas duas dimensões podem e devem ser aplicadas em conjunto, pois são ideais para estimar riscos. Com relação a risco, Lu et al., (2009) afirmam em sua análise que apenas alguns modelos empregam medidas de risco, e argumentam que é uma deficiência no campo. Com base na Figura 11, percebe-se que esse cenário não mudou, já que apenas 07% dos modelos analisados lidam com medidas de risco.

Esta pesquisa considera as dimensões segurança da informação, preferências, delegação de tarefas e medida de risco, imprescindíveis para estimar o risco em modelos de risco, confiança e reputação. Pois, pela sua própria natureza, comunidades abertas, são vulneráveis à presença de agentes desonestos e favorece determinadas ameaças. Sendo assim, o risco deve ser estimado por algum tipo de mecanismo que assegure aos agentes o cumprimento de suas tarefas. Estas dimensões propiciam a criação de um mecanismo genérico para cálculo de risco (cf. Capítulo 4). Dependendo da natureza e da complexidade do problema, as dimensões analisadas são combinadas em modelos nos sistemas multiagentes para retratar melhor o risco a confiança ou a reputação.

### **3.10 Considerações Finais**

Este capítulo apresentou as dimensões e características normalmente utilizadas no desenvolvimento dos modelos de risco, confiança e reputação, abordando brevemente cada uma. A intenção de apresentar esses itens é para vinculá-los ao risco para aplicar essas dimensões no Capítulo 4. Esta revisão utilizou nove modelos como base de estudo e o aprofundou nos demais modelos que compõem a revisão. Procurou realçar as dimensões com maior representatividade, sob o ponto de vista desta pesquisa. Além disso, descreveu a lacuna existente em modelos de risco ao longo deste estudo. Em geral, os modelos de confiança tratam o risco como consequência da confiança e não como um mecanismo de prevenção. A intenção deste trabalho é abordar o risco por meio das dimensões selecionadas, mas como um mecanismo possível de ser previsto antes dos agentes interagir no ambiente em MAS. Neste trabalho, o risco é tratado como mecanismo efetivo de prevenção, associado aos mecanismos de confiança e reputação.

A seguir, o Capítulo 4 apresenta o modelo genérico com as estruturas R1 e R2 de cálculo de risco, confiança e reputação. Relembrando, R1 corresponde a definição e operação de uma decisão usando apenas o cálculo de risco e R2 conjuga R1 com os cálculos de confiança e reputação.

# CAPÍTULO 4

## Modelo de Risco, Confiança e Reputação

Nos dois capítulos anteriores foram abordados, o risco e o papel que ele desempenha nos investimentos financeiros. As organizações diante de novos desafios e quantidade de critérios, criam estruturas complexas, dificultando a tomada de decisão. Novos métodos e critérios têm sido estudados para auxiliar as organizações a estruturar melhor os problemas e identificar o ponto de equilíbrio que possam convergir para uma solução. Por outro lado, bases de dados complexas desafiam as comunidades virtuais abertas a construir representações locais imutáveis sobre si, no qual os agentes necessitam administrar riscos, confiança e reputação de um agente sobre o outro. Para isso, dependem do compartilhamento seguro de informações.

Com base no contexto citado, propõe-se uma solução para administrar o risco financeiro e a confiança em ambientes abertos – utilizando conceitos e mecanismos próprios. Com o objetivo de auxiliar a resolver este tipo de problema, propõe-se os modelos de risco R1 e R2 integrado ao *Dossiê – modelo de confiança para sistemas multiagentes* (LESSING et al., 2018 e LESSING ET AL., 2019). Vale lembrar que os modelos utilizam estruturas diferentes para representar as dimensões de risco, confiança e reputação, visando aplicação em um ambiente aberto multiagente. Tais abordagens são descentralizadas, com os dados e os controles distribuídos. As abordagens permitem a indivíduos de outras comunidades abertas obter informações sobre outrem utilizando testemunhos armazenados localmente – no próprio agente em questão – sem que aconteçam adulterações ou omissões de informações. Para isso, utilizam o conhecimento de trabalhos existentes na área de risco, confiança e reputação.

Os modelos integram diferentes elementos, tais como: estrutura de preferência e utilidade multiatributo definidas no Capítulo 2, reputação por Dossiê, confiança e reputação e uma nova abordagem de risco com base na tomada de decisão multicritério. Em resumo, este capítulo apresenta a principal contribuição desta tese; que é a compreensão sobre como os aspectos do risco podem auxiliar a construção de novos modelos de confiança e reputação.

## 4.1 Considerações Iniciais

A complexidade organizacional tem recebido atenção especial nos últimos anos, em particular, questões ligadas à tomada de decisões. O pensamento recursivo de Morin (1992), de que o todo e as partes são complementares e antagônicos, reforça e justifica a necessidade de soluções com base em: (i) critérios multiobjetivos (AGARWAL et al., 2011; GHARAKHANI et al., 2014); (ii) prestação de serviço (BURNETT et al., 2011; KAHNEMAN, 2014); (iii) risco (DOERR e KANG, 2014); (iv) incerteza (AZEVEDO, 2014); (v) confiança e reputação (YU et al., 2013 e BRAGA et al., 2018). Todavia, a ênfase a esses fatores tem ocorrido de forma separada. Por exemplo, Queiroz et al., (2013), implementaram um modelo multicritério para avaliar risco em contratos comerciais com terceirização sob a ótica do contratado. De Almeida et al., (2015) estudaram modelos multicritérios e multiobjetivos de risco, confiabilidade e análise de decisão de manutenção em energia. Radmehr e Araghinejad, (2015) examinaram o problema de minimização de critérios de risco, na qual os departamentos de uma organização competem por recursos escassos para atingir objetivos organizacionais.

Na Inteligência Artificial, em sistemas multiagentes, embora *tenha* um grande número de modelos que utilizam as mais variadas formas de dimensões (cf. Capítulo 3, Seção 3.6) para utilizar confiança e reputação, risco ainda é um desafio. Há poucos esforços para envolver o cálculo de risco em SMA (GRANATYR et al., 2015; BRAGA et al., 2018; CALVARESI et al., 2018a). Entretanto, alguns modelos enfatizam a necessidade de considerar o risco na tomada de decisão, tais como: Ramchurn et al., (2004); Rehák et al., (2005); Wang et al., (2007) e Burnett et al., (2011). O desafio está em combinar elementos que possam derivar parâmetros para tomar decisão com base no risco, confiança e reputação.

Tradicionalmente, em ambiente aberto cooperativo ou competitivo, a informação para a tomada de decisão é obtida de um sistema de informação que calcula e disponibiliza graus de confiança sobre provedores de serviços. Este estudo considera, além das informações de confiança e reputação sobre um dado agente provedor de serviço, julgamentos que permitem derivar graus de risco. Tais informações devem apoiar à tomada de decisão de um dado agente contratante face à atribuição de um serviço a um dado agente provedor. Pode ser eficiente em situações complexas, não tratáveis por procedimentos intuitivo-empíricos usuais.

A contratação de um serviço pode ser potencialmente onerosa, pois há, na sua essência, a incerteza sobre as vantagens e/ou os prejuízos que podem dela advir para o contratante, porquê sua quantidade ou extensão está na pendência de um fato futuro e incerto e pode resultar em uma perda ao invés de lucro. Além disso, a complexidade de uma contratação se eleva na medida em que a atuação de um dado agente contratante se dá em um ambiente aberto e incerto. Nesse contexto, a disponibilidade e a confiabilidade da informação para a tomada de decisão são decisivas.

A abordagem AHP permite modelar situação de incerteza e risco na tomada de decisões complexas (SAATY, 2007), uma vez que é capaz de derivar escalas de valores na qual as medidas normalmente não existem (cf. Capítulo 2, Seção 2.4.1). Ao permitir usar probabilidades subjetivas de pessoas experientes que avaliam de forma sistemática seus vários elementos, pode-se mudar o quadro de tomada de decisão, passando de uma situação de incerteza pura para um risco mensurável. Se as medidas de recompensa forem desconhecidas em termos absolutos, pode-se usar AHP para obter medidas de proporção para os resultados. Quando cada alternativa envolve vários tipos de resultados, pode-se utilizar o AHP para combinar múltiplos critérios em uma única medida. Além disso, tal abordagem também permite derivar probabilidades subjetivas em uma escala de proporção. A propriedade de escala de proporção possibilita derivar fatores de ajuste de risco e multiplicá-los por valores livres de risco para modelar os efeitos de variância e risco (MILLET, 2002).

Para o cálculo de confiança neste estudo foi usada uma abordagem particular que concede gerenciar um modelo de confiança e reputação o qual combina várias fontes de informação (BOTELHO et al., 2009; BORGES et al., 2018). Tais fontes de informação incorporam: experiências diretas, testemunhos, análise de contexto, informações sociais, preconceito, reputação certificada, segurança da informação e uma fonte alternativa de informação denominada por *Dossiê* (cf. Capítulo 3, Seção 3.6.1). Aqui, cada agente provedor  $p$  tem o seu *Dossiê*, que é uma estrutura complexa e é composta pelas avaliações que  $p$  recebeu;  $p$  é responsável por manter e compartilhar tais avaliações sem que ocorra qualquer tipo de adulteração que possa modificá-los em benefício próprio. Aqui, utiliza-se apenas o *Dossiê* como fonte de informação sobre cada  $p$ .

O cenário básico de avaliação descreve uma relação de contratação entre um  $c$  e um conjunto  $P$  de agentes provedores potenciais. A dinâmica de funcionamento é simples, i.e., a partir de um dado conjunto de informações,  $c$  avalia os provedores de  $P$  e considera o potencial de cada um deles vis-à-vis aos seus valores de confiança e reputação. Em seguida, o agente contratante  $c$  faz uso de um conjunto de parâmetros – e julgamentos – para derivar escalas de risco da proposta de cada  $p$ . Finalmente, o processo encerra com a atribuição ou não de um contrato. Deve-se notar que a reputação positiva de um agente  $p$  não garante sua seleção, se o risco da transação for elevado e o potencial de desempenho for baixo. Essa descrição pode ser melhor ilustrada por meio da Figura 12, em que a estrutura inicial e a tomada de decisão são comuns aos modelos R1 e R2.

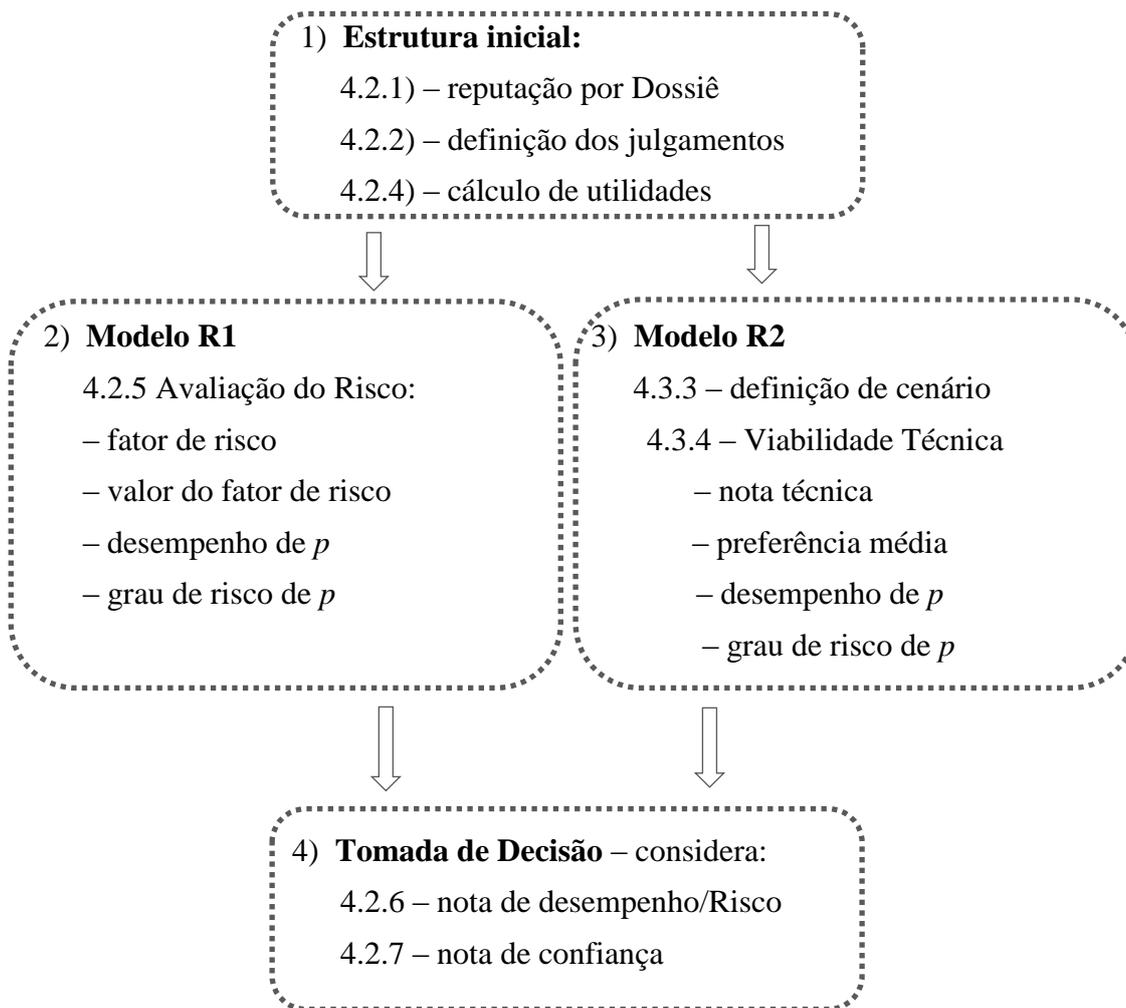


Figura 12. Estrutura genérica dos modelos de risco R1 e R2

Fonte: O autor, (2018)

A proposta delineada a seguir procura combinar, em primeiro plano, a noção de risco com o modelo R1 e, em segundo plano, reputação certificada.

## 4.2 Modelo R1

A descrição de um contrato  $ct$  entre um agente contratante  $c$  e um agente provedor  $p$  é genericamente expressa por um conjunto  $T$  de termos. Cada termo  $t \in T$  é uma *tupla*  $(c, p, i, f, cr)$ , no qual  $c$  é um cliente,  $p$  um provedor,  $i$  uma iteração/contrato,  $f$  um feedback e  $cr$  um critério. Por exemplo, dados os critérios  $cr_1$ ,  $cr_2$ ,  $cr_3$ , e  $cr_4$ , os *feedbacks* feitos por  $c$  a favor do  $p$  são dados por  $r_1 = (c_1, p_{34}, 1, 9.8, cr_1)$ ,  $r_2 = (c_1, p_{34}, 1, 9.5, cr_2)$ ,  $r_3 = (c_1, p_{34}, 1, 7.8, cr_3)$ , e  $r_4 = (c_1, p_{34}, 1, 8.0, cr_4)$ . O conjunto  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_4\}$  denota os termos do contrato.

Tal estrutura permite definir estratégias específicas com preferências multiatributos. O modelo apoiado em preferência multiatributo pode ter uma representação formal e uma simplificação da decisão, na medida em que múltiplos objetivos podem convergir para uma decisão global. Em outras palavras,  $p$  é contratado para executar um contrato se a utilidade da sua proposta está mais próxima da necessidade do  $c$ .

Deve-se notar que a atuação de  $c$  se dá – de forma informada – em um ambiente aberto e incerto, com base no modelo de reputação certificada *Dossiê* (BOTELHO et al., 2009; BORGES et al., 2015). Complementarmente, faz-se uso do método AHP (SAATY et al., 2007) como abordagem básica para a derivação de risco. A tomada de decisão final opera segundo os princípios propostos em Kahneman, (2012) e Hart e Holmstrom, (2016), no qual  $c$  decide por uma dada proposta  $B$ , observando uma situação contrária, neutra ou propensa ao risco.

Para determinar a melhor proposta,  $c$  considera:

- i. a confiança e a reputação de cada  $p$  a partir do histórico de transações contidas em *seu dossiê*  $D_p$ ;
- ii. a função da matriz de julgamentos de  $c$ , o peso  $w$  de cada critério  $c_r$ ;
- iii. a utilidade  $u_i(v_i)$  de cada valor  $v_i$  ofertado por um  $p$ ;
- iv. a utilidade  $u_{ahp}^p$  da proposta de cada  $p$ ; e
- v. o risco  $R_{rsk}^p$  de cada proposta  $B^p$  feita por cada  $p$  a partir do histórico de transações contidas no seu dossiê  $D_p$ .

A Tabela 6 apresenta de forma resumida o conjunto de dados usado nos cálculos. Eles são os contratantes, provedores, critérios, valores desejados, valores que satisfazem mais, pesos dos critérios, limites inferiores e superiores dos critérios, valores de utilidades da proposta de um provedor e valores históricos de contratos de um provedor.

Tabela 2. Parte das variáveis e seus domínios utilizado nos cálculos de reputação, utilidade e risco.

Variáveis	Descrição
$C = \{c_1, c_2, \dots, c_i\}$	Agentes clientes/contratantes.
$P = \{p_1, p_2, \dots, p_i\}$	Agentes provedores.
$C_r = \{c_{r_1}, c_{r_2}, \dots, c_{r_i}\}$	Cada $c_r \in C_r$ é um critério que define uma demanda de um agente contratante $c \in C$ .
$V = \{V_d^1, V_d^2, \dots, V_d^i\}$	Cada $V_d \in V$ é um valor desejado de um critério $cr \in C_r$ .
$S = \{S_+^1, S_+^2, \dots, S_+^i\}$	Cada $S_+ \in S$ indica quais valores de $x \in X$ satisfazem mais o agente contratante $c \in C$ .
$W = \{w_1, w_2, \dots, w_i\}$	Cada $w \in W$ atribui o peso de um critério $c_r$ . <i>Tal informação é obtida a partir das preferências de <math>c</math>.</i>
$L = \left\{ \langle L_{min}^1, L_{max}^1 \rangle, \langle L_{min}^2, L_{max}^2 \rangle, \dots, \right\}$ $B_{bid}^p = \{v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_m\}$ $U_{bid}^p = \{u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_m\}$ $D_{all}^p = \left\{ \langle c_1, n_1 \rangle, \langle c_2, n_2 \rangle, \dots, \right\}$ $\left\{ \langle c_i, n_i \rangle, \dots, \langle c_m, n_m \rangle \right\}$	Cada $\langle L_{min}^i, L_{max}^i \rangle \in L$ fornece o limite inferior e superior de um critério $c_r \in C_r$ . Cada $v \in B_{bid}^p$ é um valor ofertado — por um agente provedor $p$ para um critério $c_r$ . Cada $u \in U_{bid}^p$ é a utilidade de um valor $v \in B_{bid}^p$ ofertado para um critério $c_r \in C$ . $D_{all}^p$ é o histórico das interações passadas do agente provedor – extraído do seu <i>Dossiê</i> –, onde $c_i$ é um contrato e $n_i$ é a sua nota.

Fonte: Dados da pesquisa, (2018)

A partir das interações com  $c$ , cada agente provedor  $p$  cria um histórico  $D_{all}^p$  de contratos executados (quando houver) com as suas notas  $n_i$  que servem de parâmetro para avaliar futuras propostas  $p$ . Quando não houver registro de nota histórica no *Dossiê* de  $p$ , a nota  $n_i$  utilizada é a nota da proposta  $B_{bid}^p$  de  $p$  para um contrato  $c_i$ . Nesse caso o critério  $cr$  com menor valor  $b_i$  ofertado por  $p$  –  $U_{bid}^p$  passa a ser considerado como utilidade média mínima  $U_{avgMin}^p$  e o maior valor de  $b_i$  passa a ser considerado como utilidade média máxima  $U_{avgMax}^p$ . A partir da definição das variáveis e seus domínios, o modelo proposto faz uso da reputação por *Dossiê* para obter o grau de confiança e reputação de  $p$ . A Figura 13 descreve o fluxo de processos para auxiliar a tomada de decisão de  $c$  por um determinado agente  $p$  para contratar serviços segundo um cenário econômico.

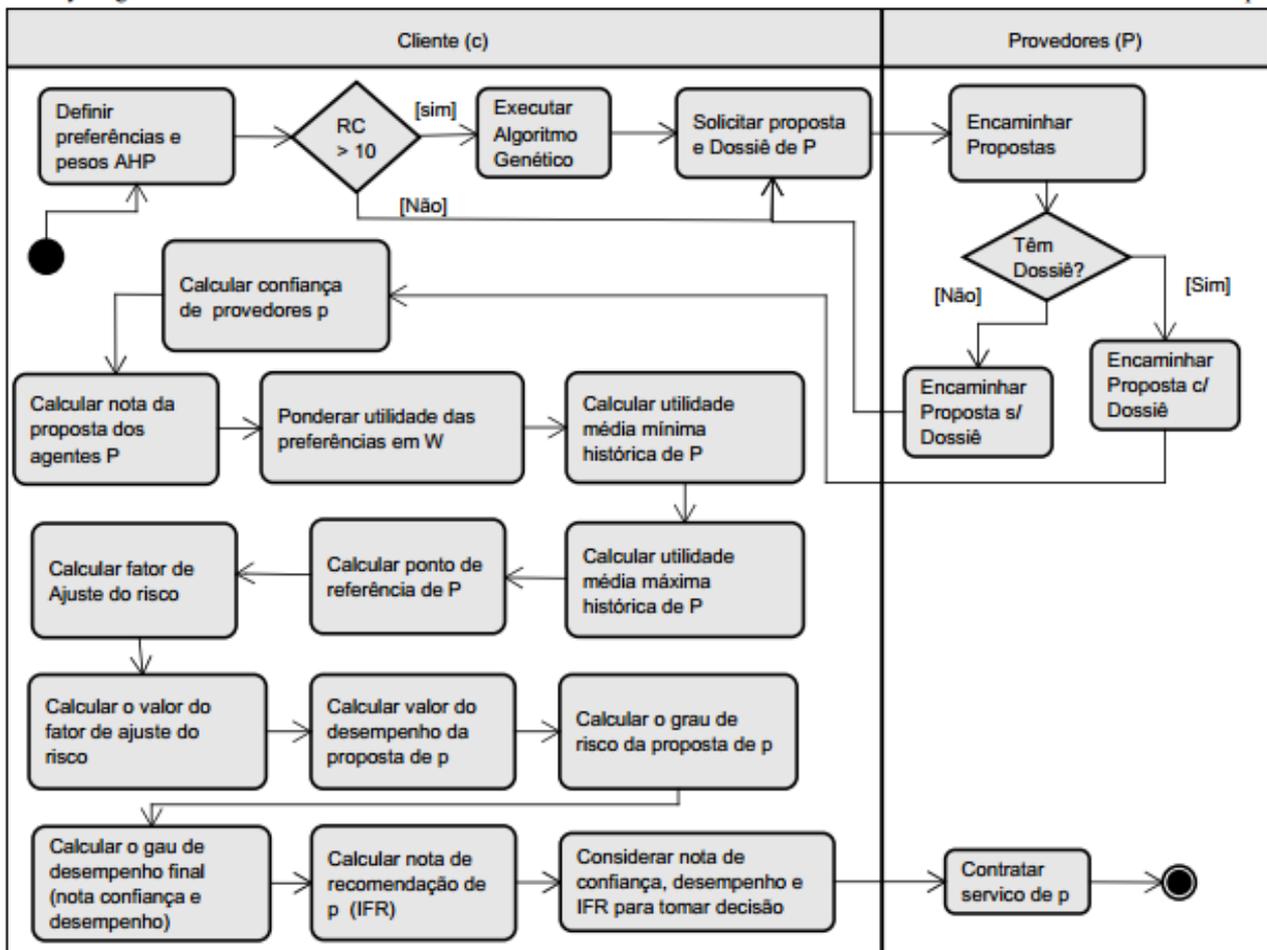


Figura 13. Fluxo de processos para a tomada de decisão

Fonte. Dados da pesquisa, (2018).

As atividades delineados na Figura 13 são descritos a seguir e também são executados pelo Algoritmo  $A_1$  na Seção 4.2.8.

#### 4.2.1 Reputação por Dossiê

A reputação por dossiê faz uso de um conjunto de mecanismos complexos. Tais mecanismos visam permitir que as avaliações recebidas possam ser armazenadas localmente. O cenário básico segue o seguinte roteiro: um agente provedor  $p$  forneceu um bem/serviço a um agente cliente  $c$ . O  $c$  avalia o serviço – que ele contratou – e envia um *feedback*  $f$  para o  $p$ . Esse último armazena localmente  $f$ . O conjunto de avaliações recebidas e armazenadas por  $p$  é chamado de Dossiê. O Dossiê de  $p$  é utilizado como testemunho a seu respeito e fica acessível sempre que outro agente tenha interesse em aferir a confiança de  $p$ . Assim, para uma determinada interação  $i$ , um agente cliente  $c$  avalia um agente provedor  $p$  por meio da atribuição de um valor  $v$  para um termo  $t$ . Cada *feedback* pode estar ligado a outro *feedback*  $f_i$ . Ele é representado por  $f = (r, f_i)$ , onde  $r$  é dada pela tupla  $[c, p, i, v, t]$  e  $f_i$  é

o link para o próximo *feedback*. Assim, nenhum outro  $p$  necessita testemunhar sobre ele. A principal vantagem decorrente desse caso é que  $c$  não precisa colocar em prática uma abordagem sofisticada para encontrar boas testemunhas, porquê os *feedbacks* já estão registrados no *Dossiê* de cada  $p$ .

$$\mathbf{T}(c, p, t) = \frac{\sum_{f_i \in D_p(p, t)} \alpha(f_i) \cdot v_i}{\sum_{f_i \in D_p(p, t)} \alpha(f_i)} \quad (\text{E1})$$

$$\alpha(f_i) = e^{-\frac{\Delta t(f_i)}{\lambda}} \quad (\text{E2})$$

A confiança  $T$  de  $c$  sobre  $p$  contratado para certo termo  $t$  é expressa pela média ponderada de todos os *feedbacks* armazenados no *Dossiê*  $D_p$  (cf. Eq. E1). A ponderação – no cálculo da média – é necessária para reduzir a importância dos *feedbacks* com o passar do tempo. Tal redução é determinada pelo coeficiente  $\alpha$ . Os *feedbacks* mais recentes tornam-se mais relevantes que os mais antigos. O coeficiente  $\alpha$  é dado pela seguinte função exponencial (Eq. E2);  $\Delta t(f_i)$  representa o tempo decorrido entre o momento da criação de um *feedback* e o momento em que o cálculo de confiança é feito; e  $\lambda$  é o fator que determina a velocidade do decréscimo da função exponencial.

Seja  $D_p$  o dossiê do  $P$ . Cada *feedback*  $f$  inserido em  $D_p$  é um registro imutável. Quando e como  $D_p$  é criado? Quando um dado agente provedor  $p$  se autentica ao ambiente, ele recebe um  $D_p$  vazio e um par de chaves  $\langle K_{pri}, K_{pub} \rangle$ .  $K_{pri}$  é uma chave privada e  $K_{pub}$  é uma chave pública. Cada  $p$  mantém em sigilo a sua chave privada, e distribui para a comunidade a sua chave pública. Quando  $c$  envia um *feedback*  $f_0$ , ele calcula a função *hash* de  $f_0$  que resulta em  $h_0 = \text{hash}(f_0)$  e criptografa  $h_0$  com a sua chave privada  $s_0 = \text{encrypt}(h_0, K_{pri}(a))$ , onde  $s_0$  é chamada de assinatura de  $f_0$ . Assim, ao enviar  $f_0$ , também encaminha  $s_0$ . O agente  $p$  – destinatário – pode verificar se  $f_0$  foi criado por  $a$  decifrando  $s_0$  a partir da chave pública de  $a$   $s_0 = \text{decripher}(s_0, K_{pub}(a))$ . Se  $s_0$  for idêntico a  $h_0$ , assume-se que  $f_0$  foi criado pelo  $c$ .

A reputação por *Dossiê* prevê duas condições: i) impedir que o agente avaliado modifique seus *feedbacks*; ii) impedir que eles sejam omitidos do *Dossiê*. A condição (i) é atendida pela assinatura digital dos *feedbacks*, e a (ii) pela estrutura de *link* dos *feedbacks* que torna o *Dossiê* indivisível, à medida que cada registro do *Dossiê* é imutável.

O *Dossiê* permite saber a confiança e a reputação de  $p$ . Para calcular o risco da proposta de  $p$  é necessário inicialmente que  $c$  defina as preferências com seus respectivos valores, conforme definido a seguir, para comparar com a proposta do  $p$ .

### 4.2.2 Definição dos julgamentos

Um dado  $c$  determina suas preferências e, a partir delas e das propostas recebidas, instancia um processo de cálculos para determinar a utilidade e o risco de cada proposta recebida. Esse processo emprega o método de cálculo analítico e de decisão hierárquica (cf. Capítulo 2, seção 2.5). É hierárquico, pois requer decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho.

O primeiro passo consiste em obter as preferências de  $c$ . Cada preferência é dada em função de um valor que expressa o quanto  $c$  prefere mais o critério  $x$  do que  $y$  (SAATY, 1991). A Tabela 7 ilustra um conjunto preferências e considera os seguintes critérios de interesse hipotéticos:  $m_1, m_2, m_3, m_4$  e  $m_5$ . Deve se ler a primeira linha de tal tabela 7 da seguinte forma:  $c$  prefere o critério  $M_1$  2 vezes mais que  $M_2$ , o critério  $M_1$  2 vezes mais que  $M_3$ , o critério  $M_1$  5 vezes menos que  $M_4$  e o critério  $M_1$ , 3 vezes menos que  $M_5$ . Deve-se ler a primeira coluna da seguinte forma:  $c$  prefere 2 vezes menos  $M_2$  que  $M_1$ , 2 vezes menos  $M_3$  que  $M_1$ , 5 vezes mais  $M_4$  que  $M_1$  e três vezes mais  $M_5$  que  $M_1$ . A primeira coluna é o recíproco da primeira linha.

Tabela 3. Comparação dos julgamentos par-a-par.

	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$
$M_1$	1	2	2	1/5	1/3
$M_2$	1/2	1	2	1/4	1/3
$M_3$	1/2	1/2	1	1/4	1/3
$M_4$	5	4	4	1	2
$M_5$	3	3	3	1/2	1

Fonte; Dados da pesquisa, (2018)

Assim, os julgamentos par-a-par podem ser representados por uma matriz quadrada de ordem  $n$ ,  $M = (m_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, n$ . Na posição  $(i, j)$  representa-se a razão entre os pesos que a preferência  $P_i$  tem sobre  $P_j$  em relação a um critério considerado em um nível imediatamente acima da hierarquia. A matriz  $M$  é recíproca, ou seja,  $m_{ji} = 1/m_{ij}, m_{ij} > 0$ . Ainda, se  $M_i$  tem igual importância relativa que  $M_j$ , então  $m_{ij} = m_{ji} = 1$ ; em particular,  $m_i = 1$ , para todo  $i$ . Desta forma, a matriz de comparação entre os pares de preferências tem a forma:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & m_{12} & \dots & m_{1n} \\ \frac{1}{m_{21}} & 1 & \dots & m_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{m_{31}} & \frac{1}{m_{3n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

O problema se concentra, então, em encontrar os pesos  $w_1, w_2, \dots, w_n$  de cada preferência, que reflitam os julgamentos. Se os julgamentos são perfeitos em todas as comparações, então  $m_{ik} = m_{ij} \cdot m_{jk}$  para quaisquer  $i, j, k$  e a matriz é consistente. A consistência é obtida se os pesos  $w_i$  forem conhecidos. Desta forma, pode-se obter:

$$m_{ij} \cdot m_{ji} = \frac{w_i}{w_j} \cdot \frac{w_j}{w_i} = \frac{w_i}{w_i} = m_{ik} \quad (E3)$$

$$m_{ji} = \frac{w_j}{w_i} = \frac{1}{w_i/w_j} = \frac{1}{m_{ij}},$$

Neste caso, a matriz  $M_w$  pode ser representada da seguinte forma:

$$M_w = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \\ \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

Multiplicando-se a matriz  $M_w$  pelo vetor  $[w_1, w_2, \dots, w_n]^t$ , pode-se obter o seguinte:

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = \mathbf{n} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \text{ onde, } M \cdot w = n \cdot w \quad (E4)$$

Sendo assim, a busca do vetor de pesos das preferências é equivalente à resolução da equação  $M \cdot w = n \cdot w$ , o que significa encontrar o vetor  $w$  de  $M$ , associado ao autovalor  $n$ . Esses últimos são os pesos relativos dos critérios, denotados aqui por  $w$ . A importância é dada do maior valor – mais preferível – para o menor valor – menos preferível.

Saaty, (1991) propôs o método do maior autovalor para determinar a matriz de julgamento como:

$$M \cdot m = \delta_{max} m,$$

No qual  $\delta_{max}$  é o maior autovalor da matriz  $M$ . A partir desta constatação, a consistência dos julgamentos pode ser avaliada com o Índice de Consistência (IC).

$$IC = \frac{\delta_{max} - n}{n - 1} \quad (E5)$$

Para uma comparação confiável, é importante observar que a inconsistência da matriz de comparação  $M$  deve ser menor que 10%, i.e., o número de vezes que a condição não é atendida, deve ser inferior a 10%. A Razão de Coerência ( $RC$ ) considera o  $IC$  e o Índice Randômico ( $IR$ ) que varia com o tamanho da amostra  $n$ .

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (E6)$$

A Tabela 8 mostra os índices randômicos das matrizes de ordem 3 a 15, no qual  $c$  decide usar uma estrutura que combina os valores de mais de uma matriz de julgamento. Os valores  $N$  de 0 a 2 são 0. Tal combinação permite um processo de decisão bem definido. A justificativa matemática para considerar esse valor como satisfatório pode ser encontrada em Vargas (1982).

Tabela 4. Valores do índice de consistência randômica.

$N$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$RI$	0.52	0.88	1.10	1.25	1.34	1.40	1.45	1.48	1.51	1.53	1.55	1.57	1.58

Fonte: Franek e Kresta, (2014)

Caso os julgamentos sejam inconsistentes, uma das possibilidades é usar uma abordagem evolucionista (cf. Capítulo 5 e Apêndice I) que automatiza o cálculo das preferências: Sbeity et al., (2014); Huang e Kuo (2017); Fanei et al., (2018); Wang et al., (2018) e Sajedinejad e Chaharsooghi, (2018).

A partir das definições dos critérios, dos respectivos pesos e valores, o agente  $c$  avalia a análise de sensibilidade (comportamento) dos critérios de cada uma das propostas dos agentes  $P$ , descrita a seguir.

### 4.2.3 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade define o efeito da variação do valor do peso dos critérios em relação ao valor global de cada uma das propostas. Este instrumento permite  $c$  efetuar diversas estimativas para os critérios na proposta dos agentes provedores  $P$  com a possibilidade de identificar três condições: pessimista, esperada e otimista. As possibilidades são combinadas e variam sempre um dos critérios, mantendo-se os demais na situação original. Ao final,  $c$  tem um conjunto de resultados possíveis e pode identificar os critérios mais sensíveis na proposta de um dado agente provedor  $p$  – as que provocam a maior variabilidade nos resultados esperados (Franek e Kresta, 2014).

O cálculo de análise de sensibilidade  $A_s$  baseia-se no peso do critério  $W_{ac}$  de  $c$ , na variação do valor do peso  $V_w^{pi}$  de  $p$ , no valor do peso do critério  $W_c^{pi}$  de  $p$  e no peso do vetor de decisão da proposta  $W_{vd}^{pi}$  de  $p$ , dado por:

$$A_s = \frac{V_w^{pi} - W_{ac}}{100\% - W_{ac}} \cdot (W_c^{pi} - W_{vd}^{pi}) + W_{vd}^{pi} \quad (E7)$$

Dado um determinado contexto, por exemplo,  $c$  faz a análise de sensibilidade do critério  $M_1$  que julga ser decisivo na aquisição de um determinado serviço. O interesse de  $c$  é saber quanto o valor pode ou deve mudar o peso de um critério para que a decisão possa mudar, i.e., ocorra uma inversão na decisão do critério.

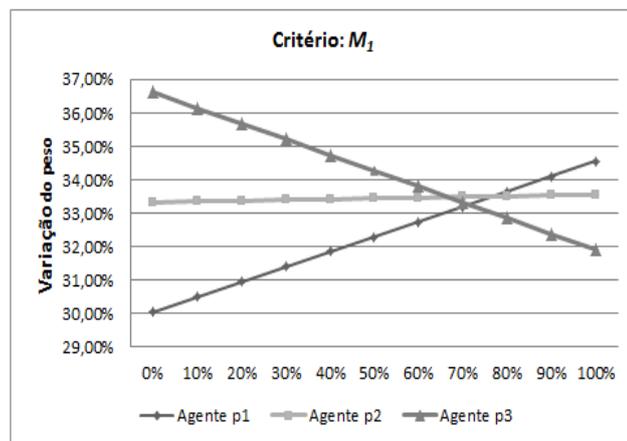
Na Tabela 9 e a Figura 14, por exemplo,  $c$  avalia a sensibilidade do critério  $M_1$  dos agentes provedores  $P$  e analisa a possibilidade de inversão da decisão individual dos critérios para obter algum ganho. Ao pressupor que o valor do critério  $M_1$  de  $c$  é 43,90%, inicialmente  $p_1$  obtém o melhor rendimento com 34,55% contra 31,91% do  $p_3$ . Porém sabe-se que, na proposta global,  $p_3$  apresenta desempenho melhor com 34,70%. Sendo assim, para mudar o contexto do critério  $M_1$ ,  $p_3$  deve incrementar o valor do critério  $M_1$  em 68%. Este conhecimento permite  $c$  avaliar e estruturar seus critérios.

Tabela 5. Cálculo da variação do peso do critério  $M_1$  dos agentes  $P$

Critério	$M_1$	Agentes Provedores		
		$p_1$	$p_2$	$p_3$
$W_{ac}$	43,90%			
Peso critério $M_1$		34,55%	33,55%	31,91%
$V_w^{pi}$	0%	30,04%	33,33%	36,63%
	10,00%	30,49%	33,36%	36,15%
	20,00%	30,94%	33,38%	35,68%
	30,00%	31,39%	33,40%	35,21%
	40,00%	31,84%	33,42%	34,74%
	50,00%	32,29%	33,44%	34,27%
	60,00%	32,74%	33,46%	33,80%
	70,00%	33,19%	33,48%	33,32%
	80,00%	33,64%	33,50%	32,85%
	90,00%	34,09%	33,52%	32,38%
$W_c^{pi}$	100%	34,55%	33,55%	31,91%
$W_{vd}^{pi}$		32,02%	33,43%	34,70%

Fonte: Dados da pesquisa, (2018)

Figura 14. Variação dos pesos dos critérios



Com a alteração dos critérios o agente cliente  $c$  identifica as potencialidades e as oportunidades de ganho com a proposta de cada agente provedor  $p$ . Tal instrumento auxilia  $c$  a analisar a variação de resultados quando um determinado fator no critério for alterado.

Esse método apresenta como desvantagem (GOMES e GOMES, 2014):

- (i) a inter-relação das variáveis, i.é, a análise desconsidera a relação entre as variáveis e trata cada uma de forma independente;
- (ii) há dificuldade em se criar cenários devido às incertezas do futuro; e
- (iii) quanto maior a variabilidade de critérios, mais difícil é definir estratégias de decisão.

Embora esse tipo de análise auxilie a avaliar os critérios que determinam o sucesso da proposta de um agente provedor  $p$ , essa mesma abordagem não avalia o risco associado a essas variáveis. Portanto, após a análise de sensibilidade  $c$  necessita fazer o cálculo de risco para decidir se prefere expor-se ao risco que lhe permita um ganho maior a opção de ser avesso ao risco ou a neutralidade.

Após a análise de sensibilidade, a definição de pesos e avaliação da importância de cada um dos critérios, o agente cliente  $c$  calcula a utilidade do risco face ao contexto que se apresenta.

#### 4.2.4 Cálculo de utilidades

Seja  $v_i$  um valor ofertado para um atributo  $c_{ri}$ ,  $u_i(v_i)$  é a sua utilidade e  $r(c_{ri})$  é a natureza  $c_{ri}$ . A natureza de um atributo dá a referência para maximização da sua utilidade, que pode ser pelo seu valor máximo  $r(c_{ri})=0$  ou pelo seu valor mínimo  $r(c_{ri})=1$ . Para ilustrar, considere dois critérios antagônicos do ponto de vista do interesse de  $c$ , que são *preço de abertura* e *preço de fechamento* de uma negociação. Obviamente, para o critério *preço de abertura* quanto mais próximo ele se encontrar do seu limite inferior, melhor  $-r(\text{preço de abertura})=0$ . Por outro lado, para o critério *preço de fechamento* quanto mais próximo ele se encontrar do seu limite superior, melhor  $-r(\text{preço de fechamento})=1$ . Deste modo (cf. E8), sugere-se a adoção dos limites inferior e superior de cada critério  $c_r \in C_r$  a partir do valor desejado  $v_d \in V$ .  $r(c_r)=0$  diz que quanto maior for o valor de um critério  $c_r$  melhor para  $c$  e  $r(c_r)=1$  o seu oposto. Cada  $\langle L_{min}^i, L_{max}^i \rangle \in L$  dá o limite inferior e superior de um critério  $c_r \in C_r$  (LESSING et al., 2018).

$$L = \bigcup_{\substack{v_d:V, \\ x:X}} \begin{cases} [2 \times v_d, \frac{v_d}{2}], & \text{se } (r(c_r) = 0) \\ [\frac{v_d}{2}, 2 \times v_d], & \text{se } (r(c_r) = 1) \end{cases}$$

(E8) Tais limites permitem calcular (cf. E9) o conjunto de utilidades  $U_{bid}^p$ , i.e., um valor de utilidade para cada valor ofertado  $v_i \in B_{bid}^p$ , sendo tal oferta feita por um agente provedor  $p$ .

$$U_{bid}^p = \bigcup_{\substack{L_{min}, L_{max}:L, \\ v:B_{bid}^p}} 10 \times \frac{(v-L_{min})}{(L_{max}-L_{min})} \quad (E9)$$

O produto dos vetores  $U_{bid}^p$  e  $W$  (cf. E10) fornecem a utilidade da proposta atual  $U_{ahp}^p$ .

$$U_{ahp}^p = \sum_{w:W, u:U_{bid}^p} w \times u \quad (E10)$$

Deve-se notar que  $c$  tem a sua disposição localmente a base histórica de interações do agente provedor  $p$ , denominada de  $D^p$ . Esse último é o Dossiê das iterações de  $p$  com a comunidade. E em função de  $U_{bid}^p$  e  $D^p$  calcula-se:

1. A utilidade média mínima  $U_{avgMin}^p$  a partir da utilidade mínima de  $U_{bid}^p$  e da nota mínima histórica de  $D^p$  (cf. E11):

$$U_{avgMin}^p = \frac{\min(U_{bid}^p) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \min(D_i^p)}{2} \quad (E11)$$

2. A utilidade média máxima  $U_{avgMax}^p$  a partir da utilidade máxima de  $U_{bid}^p$  e da nota máxima histórica de  $D^p$  (cf. E12):

$$U_{avgMax}^p = \frac{\max(U_{bid}^p) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max(D_i^p)}{2} \quad (E12)$$

3. A utilidade média da proposta  $U_{avg}^p$  dada pela média aritmética das utilidades  $U_{avgMin}^p$  e  $U_{avgMax}^p$ .  $U_{avg}^p$  fornece o ponto de referência para a avaliação da interação corrente com o agente provedor  $p$  em questão (cf. E13):

$$U_{avg}^p = \frac{U_{avgMin}^p + U_{avgMax}^p}{2} \quad (E13)$$

Aqui, pode-se decidir a favor de uma proposta a partir da maior utilidade sem considerar expressamente o risco envolvido. Todavia, essa decisão pode ser potencialmente catastrófica em um cenário incerto.

#### 4.2.5 Avaliação do risco

O agente cliente  $c$  obtém a média histórica  $U_{avg}^p$  como ponto de referência, a utilidade da proposta corrente  $U_{ahp}^p$  de um agente provedor  $p$ , assim como das utilidades médias mínimas e máximas, respectivamente,  $U_{avgMin}^p$  e  $U_{avgMax}^p$ . Com estas informações, passa a analisar o desempenho de  $p$  (LESSING et al., 2018).

O primeiro passo é calcular o fator risco  $F_{rsk}^p$  (cf. E14) da proposta de  $p$ . Ele possibilita  $c$  conhecer as pretensões de  $p$  e saber o tipo de ambiente que  $c$  está exposto. Há três situações que se apresentam, denotando que há risco ou propensão ao risco  $U_{ahp}^p < U_{avg}^p$ , não há risco ou aversão ao risco  $U_{ahp}^p > U_{avg}^p$  e indiferente ao risco  $U_{ahp}^p = U_{avg}^p$ :

$$F_{rsk}^p = \begin{cases} 100, & se (U_{ahp}^p = U_{avg}^p) \\ \left(\frac{U_{avgMin}^p}{U_{ahp}^p}\right), & se (U_{ahp}^p > U_{avg}^p) \\ 100 \left(\frac{U_{avgMin}^p}{U_{ahp}^p} + 1\right), & se (U_{ahp}^p < U_{avg}^p) \end{cases} \quad (E14)$$

O segundo passo calcula o valor do fator de ajuste do risco  $V_{rsk}^p$  (cf. E15) que ajusta a escala de valores dos critérios, variando para a mesma grandeza.

$$V_{rsk}^p = U_{ahp}^p \times F_{rsk}^p \quad (E15)$$

O terceiro passo, para cada agente provedor  $p \in P$ , calcula o valor normalizado do risco  $V_{rsk}^p$ .

$$V_{rsk}^p = \frac{V_{rsk}^p}{\sum_{p:P} V_{rsk}^p} \times 100 \quad (E16)$$

O quarto passo calcula o desempenho  $NF_{rsk}^p$  (cf. E17) da proposta de  $p$ .

$$NF_{rsk}^p = U_{ahp}^p - \frac{U_{ahp}^p \times V_{rsk}^p}{100} \quad (E17)$$

O quinto e último passo é calculado o grau de risco  $R_{rsk}^p$  (cf. E18) da proposta de  $p$ .

$$R_{rsk}^p = (10 - NF_{rsk}^p) \quad (E18)$$

Estes cálculos possibilitam o agente contratante/cliente  $c$  avaliar a proposta de cada agente provedor  $p$  conforme descrito a seguir.

#### 4.2.6 Decisão do contratante

A avaliação de desempenho é uma ferramenta utilizada pelo agente  $c$  e permite reduzir a subjetividade do risco, pois atribui a  $p$  escolhido por meritocracia. Tal avaliação permite o registro formal do desempenho de  $p$  na fase de apresentação da proposta e permite calcular o seu risco  $R_{rsk}^p$  (cf. E18). As variáveis desempenho e risco estão correlacionados formando uma correlação negativa perfeita, i.e., enquanto uma variável tende a diminuir a outra tende a aumentar.

A tomada de decisão do contratante  $c$  é dada pelo grau de desempenho final  $TMD_{rsk}^p$  (cf. E19), em que a nota de confiança e a nota do desempenho ou risco são levadas em conta.

$$TMD_{rsk}^p = \frac{NF_{rsk}^p + (T(c,p,t) \times 10)}{2} \quad (E19)$$

A função  $T(c, p, t)$ , formalmente definida por meio da fórmula E1, denota a confiança de um agente cliente  $c$  sobre um agente provedor  $p$  contratado para certo termo  $t$ ; a confiança é dada pela média ponderada de todos os *feedbacks* armazenados no *Dossiê*  $D_p$ .

Na Tabela 10, consta a confiança de cada provedor  $p$  calculada a partir do seu *Dossiê*  $D_p$ , o cálculo da proposta corrente de agente provedor  $p$ , assim como o risco para a tomada de decisão. Essas etapas são sistematizadas pelo Algoritmo  $A_1$  (cf. Seção 4.2.8). De forma breve, o cenário consiste de um conjunto de provedores  $P$  que apresentam propostas segundo seus interesses, e tais propostas podem ser neutras ( $p_1$ ), propensas ao risco ( $p_2$ ) e avessas ao risco ( $p_3$ ) para o agente contratante  $c$ . Nota-se que a atribuição do contrato é a favor do agente provedor  $p_3$ .

Tabela 6. Memória dos cálculos de utilidade e risco

Ag.	$U_{avgMin}^p$	$U_{avgMax}^p$	$U_{avg}^p$	$U_{ahp}^p$	$F_{rsk}^p$	$V_{rsk}^p$	$NF_{rsk}^p$	$R_{rsk}^p$	T(c,p,t)	$TMD_{rsk}^p$
$p_1$	7.32	8.60	7,96	7.96	$U_{ahp}^p = U_{avg}^p$	25.19	5.95	4.05	0.50	5.47
$p_2$	7.40	9.20	8.30	8.29	$U_{ahp}^p < U_{avg}^p$	49.65	4.17	5.83	0.25	3.33
$p_3$	7.95	9.40	8.67	9.46	$U_{ahp}^p > U_{avg}^p$	25.16	6.42	3.58	1.00	8.21

Fonte: Dados da pesquisa, (2018)

Tudo o que foi dito até agora diz respeito ao aparato usado por  $c$  e se ele deve ou não aceitar uma oferta feita por um determinado agente  $p$ . Embora as dimensões de confiança, reputação e risco sejam parâmetros necessários para decidir por um determinado serviço, no caso de ativos é importante um instrumento que auxilie  $c$  saber a tendência do ativo, se é de alta ou de baixa. Qual o melhor momento para comprar, vender ou esperar para negociar um determinado ativo. O índice IFR (Índice de Força Relativa) pode orientar agente contratante  $c$  e indicar a tendência sobre o comportamento do ativo na bolsa de valores descrito a seguir.

#### 4.2.7 Recomendação do provedor

Para colocar em prática um cenário realista, implementou-se um sistema de recomendação de investimento em ativos (LESSING et al., 2018 e LESSING et al., 2019). O funcionamento é o seguinte: Quando  $c$  deseja fazer um investimento, ele emite uma solicitação de recomendação de oportunidade. Cada agente  $p$  interessado no desafio devolve sua recomendação, que assume a forma de uma operação de compra, venda ou manutenção de um dado ativo. Aqui, tal recomendação é decidida usando o índice IFR desenvolvido por J. Welles Wilder (1978).

O índice IFR permite um agente cliente/investidor  $c$  observar a aceleração do movimento dos preços de determinado ativo e indicações à medida que ocorre o enfraquecimento de uma tendência nos preços de fechamento. Também sinaliza um rompimento de suporte ou resistência antes desses movimentos se tornarem aparente. A escala de variação do IFR é compreendida no intervalo de  $[0;100]$  (cf. Eq. E20 e Eq. E21).

$$IFR = \left[ 100 - \left( \frac{100}{1 + \frac{U}{D}} \right) \right] \quad (E20)$$

No qual,  $U$  é média das cotações dos últimos  $n$  dias em que a cotação subiu; e  $D$  é a média das cotações dos últimos  $N$  dias em que a cotação desceu. O número de dias pode variar entre 9, 14 e 25. O índice sinaliza momentos em que um ativo está na região de *sobre compra* (ação sobrevalorizada) ou *sobre venda* (ação subvalorizada). Para a região de *sobre compra* o agente investidor  $c$  considera o valor do índice ( $IFR > 70$ ) (cf. E20) e o valor de *sobre venda* o índice ( $IFR < 30$ ). O intervalo entre esses dois valores considera-se como período de espera. Esses valores podem variar de acordo com a tendência vigente. Quando o IFR está acima dos 70 pontos, aumenta a chance do preço reverter o movimento de alta para baixa. Quando o IFR está abaixo dos 30 pontos, aumenta a chance do preço reverter o movimento de baixa para alta.

$$f(c_r) = IFR = \begin{cases} \text{Comprar,} & c_r < 30 \\ \text{Manter,} & c_r \in [30; 70] \\ \text{Vender,} & c_r > 70 \end{cases} \quad (E21)$$

Após identificar a variação dos critérios de cada agente provedor/especialista  $p$ , o agente cliente/investidor  $c$  calcula o risco de cada uma das propostas recebidas (cf. Algoritmo  $A_1$ ). Esse fluxo de cálculo possibilita  $c$  tomar a decisão, conforme descrito a seguir.

#### 4.2.8 Fluxo de cálculos e decisões

O Algoritmo  $A_1$  atribui os passos necessários para os cálculos de utilidade e de risco das propostas de vários agentes provedores, assim como a seleção final da proposta dada pela melhor indicação envolvendo a confiança e o risco de uma dada proposta.

**Algoritmo  $A_1$ : ciclo básico de funcionamento de um agente cliente baseado em utilidade, risco, confiança e reputação.**

01  $c$ : #  $c$  é um agente contratante/cliente.

02  $P$ : #  $P$  é um conjunto de agentes provedores.

03  $L$ : #  $\langle L_{min}^i, L_{max}^i \rangle \in L$  é o limite inferior e superior de um critério  $c_{r_i} \in C_r$ .

04  $W$ : #  $w_i \in W$  é o peso de cada critério  $c_{r_i} \in C_r$  em função das preferências.

05 **Para cada agente provedor  $p \in P$  fazer:**

06 # ler proposta feita pelo agente  $p$ .

07  $B_{bid}^p \leftarrow readBid(p)$

08 # ler o dossiê do agente  $p$  com histórico de transações passadas.

09  **$D^p \leftarrow \text{readDossier}(p)$**

10 *# Calcular o limite inferior e superior de um critério  $c_r \in C_r$*

$$11 \quad L = \bigcup_{\substack{v_d:V, \\ x:X}} \begin{cases} \left[ 2 \times v_d, \frac{v_d}{2} \right], & \text{se } (r(c_r) = 0) \\ \left[ \frac{v_d}{2}, 2 \times v_d \right], & \text{se } (r(c_r) = 1) \end{cases}$$

12 *# Calcular a utilidade da proposta  $B_{bid}^p$  agente  $p$ .*

$$13 \quad U_{bid}^p = \bigcup_{\substack{L_{min}, L_{max}:L, \\ v:B_{bid}^p}} 10 \times \frac{(v - L_{min})}{(L_{max} - L_{min})}$$

14 *# Ponderar a utilidade  $U_{bid}^p$  usando pesos das preferências definidas em  $W$ .*

$$15 \quad U_{ahp}^p = \sum_{w:W, u:U_{bid}^p} w \times u$$

16 *# Calcular a utilidade média mínima a partir da mínima da interação e da média das mínimas históricas.*

$$17 \quad U_{avgMin}^p = \frac{\min(U_{bid}^p) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \min(D_i^p)}{2}$$

18 *# Calcular a utilidade média máxima a partir da máxima da interação e da média das máximas históricas.*

$$19 \quad U_{avgMax}^p = \frac{\max(U_{bid}^p) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max(D_i^p)}{2}$$

20 *# Calcular o ponto de referência para a avaliação da interação do agente  $p$ .*

$$21 \quad U_{avg}^p = \frac{U_{avgMin}^p + U_{avgMax}^p}{2}$$

22 *# Calcular o fator de ajuste do risco:*

$$23 \quad F_{rsk}^p = \begin{cases} 100, & \text{se } (U_{ahp}^p = U_{avg}^p) \\ \left( \frac{U_{avgMin}^p}{U_{ahp}^p} \right), & \text{se } (U_{ahp}^p > U_{avg}^p) \\ 100 \times \left( \frac{U_{avgMin}^p}{U_{ahp}^p} + 1 \right), & \text{se } (U_{ahp}^p < U_{avg}^p) \end{cases}$$

24 *# Calcular o valor do fator de ajuste do risco:*

$$25 \quad V_{rsk}^p = U_{ahp}^p \times F_{rsk}^p$$

26 ***fim.***

27 ***Para cada agente provedor  $p \in P$  fazer:***

28 *# Calcular o valor normalizado do risco.*

$$29 \quad V_{rskST}^p = \frac{V_{rsk}^p}{\sum_{p:P} V_{rsk}^p} \times 100$$

30	# Calcular desempenho da proposta de $p$ .
31	$NF_{rsk}^p = U_{ahp}^p - \frac{U_{ahp}^p \times V_{rskST}^p}{100}$
32	# Calcular o grau de risco de $p$ .
33	$N_{rsk}^p = (10 - NF_{rsk}^p)$
34	# Calcular o grau de desempenho final – nota de confiança e a nota de desempenho.
35	$TMD(c, p, v) = TMD_{rsk}^p = NF_{rsk}^p + \frac{NF_{rsk}^p \times T(c, p, t)}{2}$
36	<b>Fim.</b>
37	<b>Decisão = <math>\max_{p \in P} TMD_{rsk}^p</math></b>

A união das dimensões confiança e risco formalizado em  $A_1$  permitem definir um método sofisticado de interação entre agentes de software. Eles interagem automaticamente e tomam decisões com base na autonomia, preferências e na sociabilidade.

A Seção 4.3 descreve um modelo que utiliza outra estrutura de decisão e toma como base as dimensões selecionadas no Modelo R1. Em particular, o Modelo R2 usa uma estrutura em níveis AHP, definido a seguir.

### 4.3 Modelo R2

O modelo de tomada de decisão R2 permite usar as dimensões confiança, reputação e risco de cenário – denominado R2 – para atuar de forma mais segura em um sistema aberto (LESSING et al., 2019). Em tal sistema, similarmente ao que já foi dito anteriormente (Seção 4.2), cada indivíduo é um agente de software que assume um dos seguintes papéis: cliente ou provedor. O cliente avalia, na forma de *feedbacks*, o serviço prestado por um provedor. Cada *feedback* alimenta um modelo de reputação. Este último é fundamental para fazer boas escolhas de provedores. Assim, a primeira tarefa de um cliente é escolher – com base em um sistema de confiança e reputação – um provedor para fazer uma interação. Tal interação pode ser, por exemplo, para solicitar uma recomendação. Aqui, usa-se o modelo de reputação do tipo certificado e descentralizado; tal modelo foi desenvolvido em trabalhos anteriores. Ele usa uma estrutura particular denominada Dossiê (cf. Seção 4.2.1); cada dossiê é uma estrutura como *blockchain*<sup>5</sup> para manter os *feedbacks* de forma

<sup>5</sup> Blockchain são bases de registros e dados distribuídos e compartilhados que têm a função de criar um índice global para todas as transações que ocorrem em um determinado mercado. Funciona como um livro-razão, só que de forma pública, compartilhada e universal, que cria consenso e confiança na comunicação direta entre duas partes, ou seja, sem o intermédio de terceiros. CHRISTIDIS, K. e DEVETSIKIOTIS, M. Blockchains and Smart contract for Internet of

descentralizados. A segunda tarefa do cliente é efetivar ou não a transação a partir do resultado da interação no contexto da primeira tarefa.

Para realizar a segunda tarefa, a proposta é usar um método de cálculo de risco com base em níveis, a partir de cenários e preferências. Tal método de cálculo de risco pode ser visto como uma ampliação do método AHP. Para isso, é proposto um método que busca combinar noção de risco em primeiro plano e reputação certificada em segundo plano.

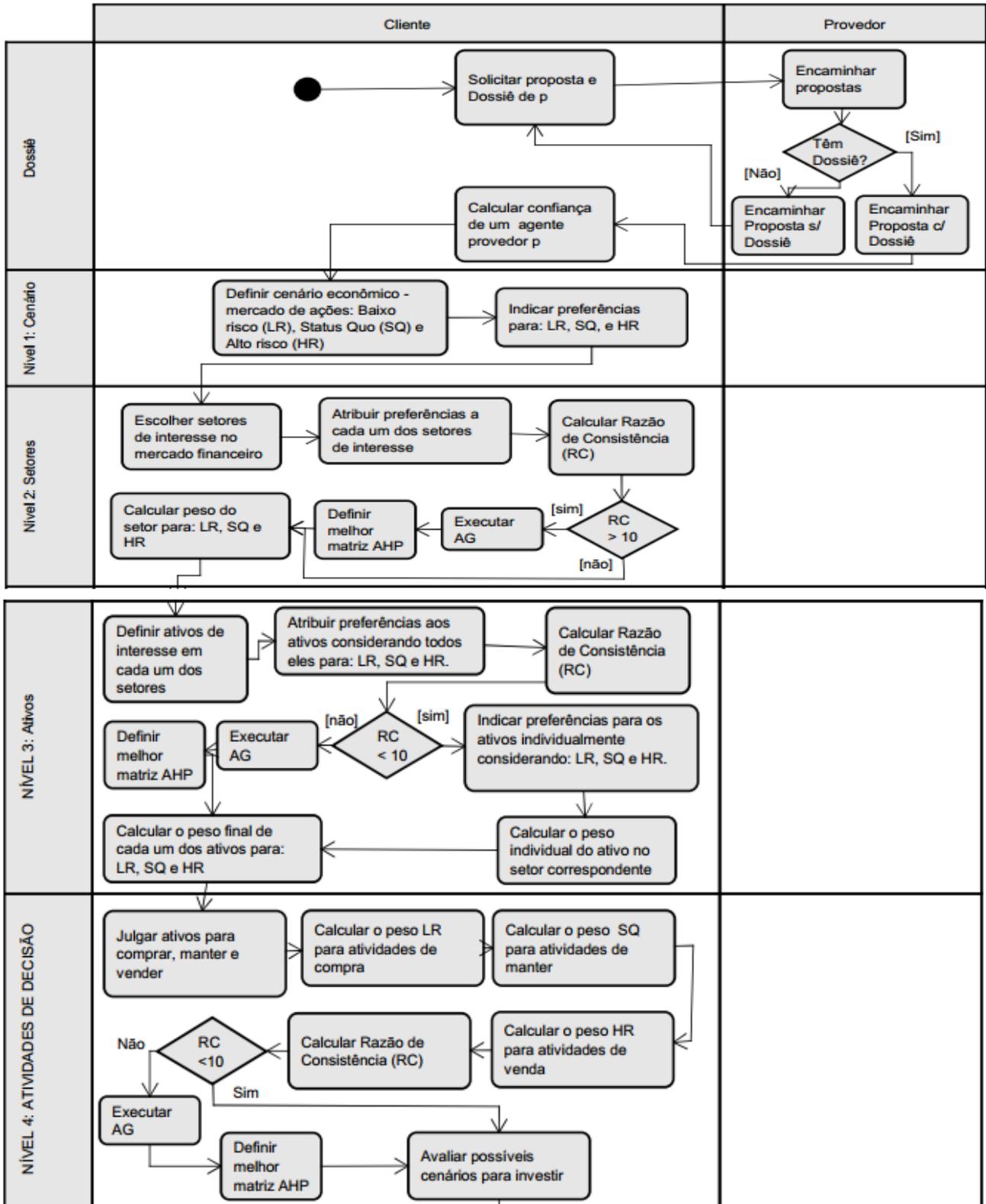
#### 4.3.1 Método do modelo R2

O método R2 utiliza a mesma estrutura inicial do método R1 (cf. Seção 4.2) na descrição de um contrato  $ct$ . Em seguida, diferencia-se ao determinar os fluxos de processos para considerar a melhor proposta, onde um agente contratante  $c$  leva em conta (LESSING et al., 2019):

- i. a confiança e a reputação de cada agente provedor  $p$  a partir do histórico de transações contidas em seu *Dossiê*  $Dp$ ;
- ii. a matriz de julgamento para determinar o peso  $w$  de cada critério  $cr$  de  $c$ ;
- iii. a proposta  $B_p$  baseia-se na utilidade do grau de confiança  $GC$  oferecida por  $p$ ;
- iv. a utilidade máxima  $P_i$  baseia-se nas preferências de  $c$ ; e
- v. a tomada de decisão baseia-se em uma nota técnica ( $Nt$ ) (cf. E26, E27 e E28), média das preferências ( $M_p$ ) (cf. E29, E30 e E31), cálculo de desempenho  $TMD_{DES}^c$  (cf. E32) e risco  $R_{RSK}^c$  (cf. E33).

A reputação por Dossiê utiliza um conjunto de mecanismos complexos e visa permitir que as avaliações recebidas possam armazenar localmente.

A Figura 15 descreve o fluxo da tomada de decisões em um mercado de ações específico definido por um agente cliente  $c$ .



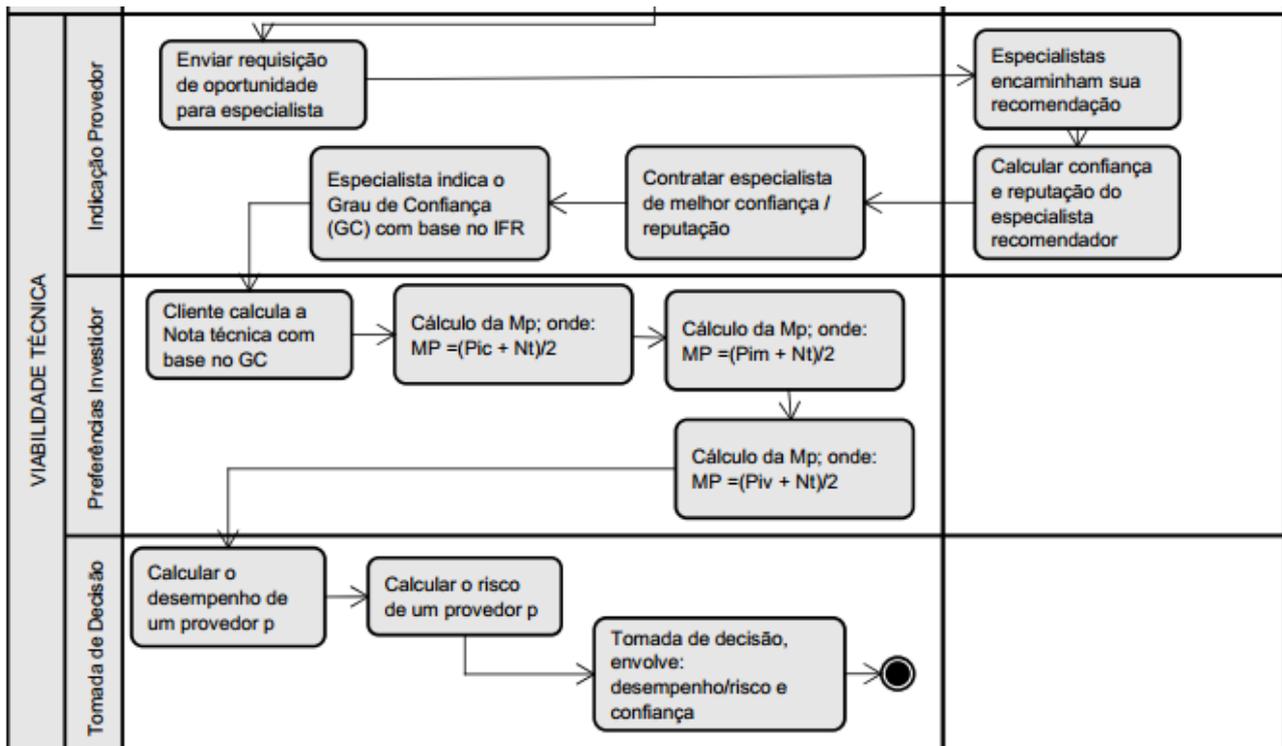


Figura 15. Fluxo dos processos para a tomada de decisão do modelo R2

Fonte: Dados da pesquisa, (2018)

Na atribuição de um contrato  $ct$ , cada agente cliente  $c$  decide usar uma estrutura que combina os valores de mais de uma matriz de julgamento AHP (cf. Seção 4.2.2). A estrutura do cálculo das preferências é mostrada na Seção 4.3.5, Algoritmo  $A_2$ , linhas 14 a 35. Tal combinação permite um processo bem-definido de tomada de decisão.

### 4.3.2 Processos para a tomada de decisão

O método envolve uma estrutura hierárquica estática que serve de base para os elementos dinâmicos. Estes últimos podem variar de acordo com a função das informações fornecidas por um especialista humano ou reunidas pelo processo de interação de uma comunidade de agentes de software.

A estrutura e seus elementos procuram alcançar o objetivo geral decompondo um problema complexo em uma hierarquia. Cada nível é expresso por uma série de preferências e os elementos de nível superior interferem nos elementos de nível inferior. O processo continua até os elementos mais específicos do problema, normalmente os cursos específicos de ação, são representados no nível mais baixo da hierarquia.

Estruturar hierarquicamente qualquer problema de decisão é uma maneira eficiente de lidar com a complexidade e identificar os principais componentes do problema. Não existe uma estrutura hierárquica geral única, e um dos principais atributos do método do modelo R2 é flexibilizar o gerenciamento para construir uma hierarquia que possa atender às necessidades idiossincráticas.

Considere uma estrutura de decisão definida por Saaty (2009), na qual cada agente cliente utiliza uma hierarquia simples de 4 níveis (e.g., cenário, setor, ativo e atividade – que especifica o curso de ação para comprar, manter ou vender um ativo). A estrutura e seus elementos buscam atingir um objetivo geral, que consiste em identificar o melhor investimento no mercado acionário com base nas preferências de um dado agente cliente. Cada cliente pode mudar de comportamento durante a negociação, dependendo se satisfaz sua finalidade geral.

A medição metodológica utilizada estabelece prioridades entre os elementos dentro de cada camada hierárquica. Isso é feito para possibilitar uma forma de avaliar cada conjunto de elementos par-a-par para cada um dos elementos da camada superior. Esta forma de medição usada pelo método fornece um quadro prático para selecionar e avaliar informações e constitui o núcleo do Modelo R2. Estruturalmente a hierarquia é dividida em uma série de matrizes de comparação em pares. A Seção 4.3.3, expõe os esquemas das matrizes de julgamento.

### 4.3.3 Preferências do agente cliente

O processo de tomada de decisão visa mostrar como  $c$  sistematiza operações de compra e venda de ativos. Tal processo considera informações de percepção de cenário econômico, setores econômicos e ativos (LESSING et al., 2019).

O primeiro nível de decisão é dado pelo cenário econômico. Ele é dividido em três situações com base na estrutura AHP:

- a) conservador – baixo risco (LR);
- b) moderado – status quo (SQ); e
- c) agressivo – alto risco (HR).

O segundo nível de decisão é dado pelo setor econômico: a) elétrico ( $E$ ), mineração ( $M$ ) e telefonia ( $T$ ). O terceiro nível de decisão é dado por ativos: a) setor elétrico ( $e$ ); b) setor de mineração: ( $m$ ); e c) setor de Telefonia: ( $t$ ). Dependendo do interesse do cliente, é possível ter mais de um tipo de ativo por setor na estrutura.

No quarto nível, este processo termina com a execução de uma atividade, o resultado final é dado pela compra ( $C$ ), manutenção ( $M$ ) ou venda ( $V$ ) de um determinado ativo. Embora essa estrutura tenha 4 níveis, a estrutura também permite outros níveis, como subatividades específicas. A partir do cenário descrito, as matrizes são calculadas para cada nível de acordo com as preferências do agente cliente:

**Nível 1:** Pode ser representado pela matriz  $S$ , onde  $a_{ij} = \begin{cases} M_R^x & \text{Se } i = j \\ 0 & \text{Se } i \neq j \end{cases}$ , em que  $M_R^x$  é  $M_L^1$ ,  $M_S^1$  e

$M_H^1$  em  $a_{11}$ ,  $a_{22}$ ,  $a_{33}$  respectivamente e representa os valores do cenário, definidos pelas preferências:

$M_L^1$  é a preferência por  $LR$ ,  $M_S^1$  preferência por  $SQ$  e  $M_H^1$  preferência por  $HR$  – Estes processos estão declarados na **Figura 15** e os cálculos são operacionalizados no Algoritmo  $A_2$ , Seção 4.3.5, linhas 21 a 24. Logo,

$$M^{1R} = S \quad (E22)$$

**Nível 2:** a parte cliente define as preferências na matriz recíproca dos setores  $E$ ,  $M$  e  $T$  individualmente considerando os pesos de  $LR$ ,  $SQ$  e  $HR$ . Então,

$$\text{assume-se que } LR = SQ = HR = \begin{bmatrix} 1 & M_{EL}^x & M_{EL}^x \\ \frac{1}{M_{ML}^x} & 1 & M_{ML}^x \\ \frac{1}{M_{TL}^x} & \frac{1}{M_{TL}^x} & 1 \end{bmatrix} \text{ onde, } M_{EL}^x, M_{ML}^x \text{ ou } M_{TL}^x \text{ são as preferências do}$$

setor elétrico, mineração e telefonia para  $LH(L)$ ,  $SQ(S)$  e  $HR(H)$ . Logo,  $M^t = \begin{bmatrix} M_{EL}^x & M_{ML}^x & M_{TL}^x \\ M_{ES}^x & M_{MS}^x & M_{TS}^x \\ M_{EH}^x & M_{MH}^x & M_{TH}^x \end{bmatrix}$ , onde

$M_{ij}^x$ ,  $i$  = elétrico, mineração, telefonia e  $j$  = conservador, moderado ou agressivo. Multiplica-se os valores do nível 1 pelo nível 2. Logo,

$$M^{2R} = S \cdot M^t \quad (E23)$$

Os processos do nível 2 estão declarados na **Figura 15** e os cálculos são operacionalizados no Algoritmo  $A_2$ , Seção 4.3.5, linhas 25 a 28.

**Nível 3:** O  $c$  define os ativos na matriz  $A_t$  com as preferências para  $LR$ ,  $SQ$  e  $HR$ . Por exemplo, a

$$\text{matriz de } LR \text{ e o vetor de } A_t = \begin{bmatrix} 1 & M_{EL}^x & M_{EL}^x \\ 1/M_{ML}^x & 1 & M_{ML}^x \\ 1/M_{TL}^x & 1/M_{TL}^x & 1 \end{bmatrix}, \text{ onde, } M_{EL}^x \text{ é o ativo do setor elétrico, } M_{ML}^x$$

é o ativo do setor de mineração e  $M_{TL}^x$  é o ativo do setor de telefonia. Logo,  $M^t = \begin{bmatrix} M_{EL}^x & M_{ML}^x & M_{TL}^x \\ M_{ES}^x & M_{MS}^x & M_{TS}^x \\ M_{EH}^x & M_{MH}^x & M_{TH}^x \end{bmatrix}$ ,

onde as linhas representam os ativos e as colunas o perfil do cliente (conservador, moderado e agressivo). Logo,

$$M^{3R} = M^{2R} \cdot M^t \quad (E24)$$

Os processos do nível 3 estão declarados na **Figura 15** e os cálculos são operacionalizados no Algoritmo  $A_2$ , Seção 4.3.5, linhas 29 a 32.

**Nível 4:** Na atividade de decisão  $At_d^4$ , o agente cliente define as ações comprar, manter ou vender.

$$\text{Seja o ativo do setor } E \text{ a matriz } At_d^4 = \begin{bmatrix} 1 & M_{CL}^x & M_{CL}^x \\ 1/M_{ML}^x & 1 & M_{ML}^x \\ 1/M_{VL}^x & 1/M_{VL}^x & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{CL}^x \\ M_{ML}^x \\ M_{VL}^x \end{bmatrix} \text{ onde, } M_{CL}^x, M_{ML}^x \text{ e } M_{VL}^x \text{ é o}$$

vetor para comprar de LR. Os julgamentos de SQ e HR. Resulta:  $\begin{bmatrix} M_{CS}^x \\ M_{MS}^x \\ M_{VS}^x \end{bmatrix}$  e  $\begin{bmatrix} M_{CH}^x \\ M_{MH}^x \\ M_{VH}^x \end{bmatrix}$ . Portanto,  $At_d^t =$

$\begin{bmatrix} M_{CL}^x & M_{ML}^x & M_{VL}^x \\ M_{CS}^x & M_{MS}^x & M_{VS}^x \\ M_{CH}^x & M_{MH}^x & M_{VH}^x \end{bmatrix}$ . As linhas correspondem às atividades (comprar, manter e vender) e as colunas representam o perfil do agente cliente (conservador, moderado e agressivo). Assim, a preferência pelo ativo  $E$  é dada por:

$$M^{4R} = M^{3R} \cdot At_d^t \quad (E25)$$

Esse processo no nível 4 deve ser repetido para os ativos dos setores  $M$  e  $T$  que compõem a estrutura de decisão na definição das preferências da parte cliente. Os processos do nível 4 estão declarados na **Figura 15** e os cálculos são operacionalizados no Algoritmo  $A_2$ , Seção 4.3.5, linhas 33 a 36.

Esta estrutura hierárquica de decisão pode resumir-se em:

- a) Nível I (definição do cenário):  $M^{1R} = S$
- b) Nível II (definição dos setores):  $M^{2R} = S \cdot M^t$ ,
- c) Nível III (definição do tipo do ativo):  $M^{3R} = M^{2R} \cdot M^t$ ,
- d) Nível IV (decisão: comprar, manter ou vender):  $M^{4R} = M^{3R} \cdot At_d^t$ .

Essa estrutura permite ao agente  $c$  classificar suas preferências de acordo com o ativo que melhor se adequa ao mercado de ativos. No entanto,  $c$  procura assegurar-se de sua decisão e contrata um agente provedor/especializado  $p$ , descrito a seguir.

#### 4.3.4 Viabilidade Técnica

Assume-se aqui que agentes provedores/especialistas em análise técnica provem serviços de recomendação. Tais agentes provedores sabem que serão avaliados no final da transação e que a nota vai impactar de forma positiva ou negativa na sua reputação.

Neste contexto, a estratégia utilizada pelo agente contratante compreende: i) a indicação de um provedor; ii) a definição das preferências de um investidor – que ora o agente  $c$  é o representante; e iii) a decisão em função de desempenho e risco (LESSING et al., 2019).

i. **Indicação de Provedor:** O Modelo R2 utiliza o mesmo processo de recomendação do Modelo R1 (cf. Seção 4.2.7).

ii. **Preferências de Investidor:** Nota-se que cada provedor fornece ao seu cliente uma recomendação  $r$  para comprar, manter ou vender um ativo e utiliza o grau de  $GC$  para expressar seu nível de crença sobre a recomendação  $r$ , e.g., usando o índice  $IFR$ . Com base em  $r$ , o cliente pode definir uma estratégia diferente de acordo com seu interesse. Nesse caso, após a obtenção do grau

$GC$  remetido pelo provedor  $p$ , o cliente  $c$  avalia, por meio da maximização, os valores das suas preferências para comprar ( $Pi_C$ ), manter ( $Pi_M$ ) e vender ( $Pi_V$ ). Logo,

$$Pi_C = \max\{M_{CL}^x, M_{CS}^x, M_{CH}^x\} \quad (E26)$$

$$Pi_M = \max\{M_{ML}^x, M_{MS}^x, M_{MH}^x\} \quad (E27)$$

$$Pi_V = \max\{M_{VL}^x, M_{VS}^x, M_{VH}^x\} \quad (E28)$$

Em seguida, é calcula a nota técnica e mantém-se alinhado as condições limitadoras para cada tipo de ação, como:

$$\text{Comprar, } N_c = \left\lfloor \frac{100 \cdot (GC - 30)}{30} \right\rfloor \quad (E29)$$

$$\text{Manter, } N_M = \left\lfloor \frac{100 \cdot (GC - 30)}{40} \right\rfloor \quad (E30)$$

$$\text{Vender, } N_v = \left\lfloor \frac{100 \cdot (GC - 70)}{30} \right\rfloor \quad (E31)$$

A nota técnica é o grau de confiança na escala entre [0;100] para cada ação e oferece um parâmetro capaz de auxiliar a tomada de decisão. Entretanto, como o interesse deve ser um dos principais atributos analisados para a tomada de decisão, a nota técnica não deve (necessariamente) ser a única informação utilizada. Logo, é calculada a preferência média ( $M_p$ ) entre a pretensão do investidor e a nota técnica obtida pelo grau de confiança (cf. E32, E33 e E34). Também se considera que a preferência do investidor para cada tipo de ação é definida numa escala entre [0 ; 100]. Desta forma, a preferência média é dada por:

$$M_p = \begin{cases} \frac{Pi_C + N_c}{2}, \text{ onde } N_c = \left\lfloor \frac{100 \cdot (GC - 30)}{30} \right\rfloor, \text{ se } GC \in [0 ; 30) \end{cases} \quad (E32)$$

$$M_p = \begin{cases} \frac{Pi_M + N_M}{2}, \text{ onde } N_M = \left\lfloor \frac{100 \cdot (GC - 30)}{40} \right\rfloor, \text{ se } GC \in [30 ; 70] \end{cases} \quad (E33)$$

$$M_p = \begin{cases} \frac{Pi_V + N_v}{2}, \text{ onde } N_v = \left\lfloor \frac{100 \cdot (GC - 70)}{30} \right\rfloor, \text{ se } GC \in (70 ; 100] \end{cases} \quad (E34)$$

Este conjunto de parâmetros associados ao tipo de comportamento de um agente cliente permite fazer diferentes combinações – é uma questão de preferência. A Tabela 11 apresenta três exemplos  $C1$ ,  $C2$  e  $C3$ . Os valores das preferências são os mesmos para todas as três condições, no entanto, varia a nota  $GC$ . Aqui, o objetivo é avaliar o impacto da pontuação  $GC$  dada pelo investidor na tomada de decisão, i.e., avaliar o grau de interesse.  $C1$ ,  $C2$  e  $C3$  consideram os valores  $Pi_c = 68\%$ ,  $Pi_M = 55\%$  e  $Pi_v = 45\%$ .

Na primeira condição *C1*, o *GC* recomendado pelo provedor é 49,00 – é a situação de manutenção, i.e., está na faixa entre [30; 70] (cf. E30). O grau de interesse da proposta é dado por:  $N_t = 47,50\%$  e  $M_p = 51,25\%$ .

Por outro lado, na condição *C2*, o *GC* recomendado pelo provedor é 10. Esse valor está no intervalo de compra [0; 30] (cf. E30). *GC* aplicado na E29 obtêm  $N_t = 66.66\%$  e resulta em  $M_p = 67.33\%$ ; a condição *C2* é mais interessante que *C1*.

A última condição *C3*, o *GC* recomendado pelo provedor é de 75,00. Este valor está na faixa de venda (70; 100) (cf. E32), *GC* aplicado na E29 obtêm  $N_t = 16,67\%$  e resulta em  $M_p = 30,83\%$ . Nestas condições, comparando *C1*, *C2* e *C3*, *C2* é a mais interessante porquê apresenta maior grau de interesse ( $N_t$ ) que a preferência média ( $M_p$ ).

Tabela 7. Relevância dos parâmetros para a tomada de decisão

Condição	Ação	$P_i$	<i>GC</i>	$N_t$	$M_p$
<i>C1</i>	Comprar	68.00%	49.00%	47.50%	51.25%
<i>C2</i>	Manter	55.00%	10.00%	66.66%	67.33%
<i>C3</i>	Vender	45.00%	75.00%	16.67%	30.83%

Fonte: Dados da pesquisa, (2018)

Deve-se observar que há uma condição particular de comprometimento entre o cliente e o provedor. i.e., ambos estão cientes e de acordo em usar o *IFR* como *GC*, assim como os limites inferiores e superiores para realizar operações entrada ou saída em um ativo. Obviamente, poder-se-ia generalizar na medida em que a recomendação seria remetida no seguinte formato: comprar com 90% de confiança ou vender 95% de confiança. Desta forma, o provedor poderia indicar sua recomendação usando qualquer metodologia e o cliente não teria a necessidade de saber operar com índices especializados. Em resumo, a nota técnica  $N_t$  sobre uma dada operação é calculada e informada pelo provedor da recomendação numa escala de importância crescente limitada em [0, 1].

iii. Decisão do agente cliente – desempenho e risco: A tomada de decisão do cliente é dada pelo nível de desempenho (cf. E35). Ela considera a média das preferências ( $M_p$ ) e a reputação é dada por  $R_{pt} = T(c,p,t)$ . A seguir, o cliente calcula o risco (cf.. E36).

$$TMD_{DES}^c = \frac{(M_p + (M_p \cdot R_{pt}))}{2} \quad (E35)$$

$$R_{rsk}^c = (100 - TMD_{DES}^c) \quad (E36)$$

Ao considerar os parâmetros da Tabela 11 na Tabela 12, o agente  $c$  pode tomar sua decisão em favor da segunda condição, de manter o ativo e aguardar outra oportunidade para fazer investimento. Os cálculos são operacionalizados no Algoritmo  $A_2$ , Seção 4.3.5, linhas 43 a 60.

Tabela 8. Tomada de decisão de um agente cliente

Ação	$P_i$	$GC$	$Nt$	$M_p$	$R_{pt}$	$TMD_{DES}^c$	$R_{rsk}^c$
Comprar	68 %	49%	47 %	51 %		44.60 %	55.37%
Manter	55 %	10 %	67 %	67 %	0.75	58.62 %	41.37%
Vender	45 %	75 %	16 %	30 %		26.25 %	73.75%

Fonte: Dados da Pesquisa, (2018)

A seguir os processos descritos anteriormente no método proposto, são ilustrados por meio de um fluxo de cálculos e decisões pelo cliente. Esse fluxo de cálculo possibilita o cliente avaliar o seu comportamento perante as possibilidades de ser conservador, indiferente ou agressivo ao risco em uma determinada operação com ativos. A tomada de decisão considera a análise global dos ativos analisados.

### 4.3.5 Fluxo de Cálculos e Decisões

O Algoritmo  $A_2$  ilustra os passos necessários para os cálculos de utilidade e de risco das preferências da parte cliente. A parte provedora fornece recomendação e a parte cliente calcula o desempenho e o risco da operação para um dado ativo.

Algoritmo  $A_2$ : *ciclo básico de funcionamento de um agente cliente baseado em utilidade, risco, confiança e reputação.*

**// O cálculo das utilidades do ativo (e) do setor elétrico.**

01:  $c$ : # é um cliente agente/contratante.

02:  $P$ : # é um conjunto de agentes provedores.

03:  $L$ : #  $\langle L_{min}^i, L_{max}^i \rangle \in L$  é o limite inferior e superior de um critério  $x_i \in X$ .

04:  $W$ : #  $w_i \in W$  é o peso de cada critério  $x_i \in X$  em função das preferências.

03:  $Bid_{(p)}$  # Proposta de  $p$ .

04:  $Dossiê_{(p)}$  # Reputação histórica de  $p$ .

05: **para cada agente provedor  $p \in P$  fazer:**

06: # ler proposta feita por  $p$

07:  $B_{bid}^p \leftarrow \text{ler Bid}(p)$

08: # Ler o Dossiê de  $p$  com o histórico de transações passadas

09:  $D_p \leftarrow \text{ler Dossiê}(p)$

10: # calcular a utilidade da proposta  $B_{bid}^p$  agente provedor  $p$ .

$$11: \quad U_{bid}^p = \bigcup_{\substack{L_{min}, L_{max}:L, \\ v: B_{bid}^p}} 10 \times \frac{(v - L_{min})}{(L_{max} - L_{min})}$$

12: # Ponderar a utilidade  $U_{bid}^p$  usando pesos das preferências definidas em  $W$ .

$$13: \quad U_{ahp}^p = \sum_{w:W, u:U_{bid}^p} w \times u$$

14: # Calcular utilidade média a partir da mínima da interação e da média das mínimas históricas.

$$15: \quad U_{avgMin}^p = \frac{\min(U_{bid}^p) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \min(D_i^p)}{2}$$

16: # Calcular utilidade média a partir da máxima da interação e da média das máximas históricas.

$$17: \quad U_{avgMax}^p = \frac{\max(U_{bid}^p) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max(D_i^p)}{2}$$

18: # Calcular ponto de referência para a avaliação da interação do provedor  $p$ .

$$19: \quad U_{avg}^p = \frac{U_{avgMin}^p + U_{avgMax}^p}{2}$$

20: **para cada cenário econômico fazer:**

21: # **Nível 1:** receber parâmetros do cenário: low risk, status quo e high risk.

22: Ler  $M_L^x; M_S^x; M_H^x$

23: # Definir a matriz de preferências do cenário

$$24: \quad M^{1R} = S$$

25: # **Nível 2:** Ler Preferências dos setores: low risk, status quo e high risk).

26: ler  $M_{EL}^x; M_{ML}^x; M_{TL}^x; M_{ES}^x; M_{MS}^x; M_{TS}^x; M_{EH}^x; M_{MH}^x; M_{TH}^x$

27: # Calcular o peso dos setores de acordo com as preferências do cliente

$$28: \quad M^{2R} = S \cdot M^t$$

29: # **Nível 3:** Ler preferências dos ativos.

30: ler  $M_{EL}^x; M_{ML}^x; M_{TL}^x; M_{ES}^x; M_{MS}^x; M_{TS}^x; M_{EH}^x; M_{MH}^x; M_{TH}^x$

31: # Calcular o peso das preferências dos ativos.

$$32: M^{3R} = M^{2R} \cdot M^t$$

33: # **Nível 4:** dados das atividades

34: ler  $M_{EL}^x; M_{ML}^x; M_{TL}^x; M_{ES}^x; M_{MS}^x; M_{TS}^x; M_{EH}^x; M_{MH}^x; M_{TH}^x$

35: # Calcular o peso das preferências das atividades

$$36: M^{4R} = M^{3R} \cdot At_d^t$$

37: **fim**

38: **Para cada ativo que o provedor recomenda fazer:**

39: # **Nível de confiança** indicado pelo provedor, onde  $f(x=IFR)$ .

$$40: IFR = \left[ 100 - \left( \frac{100}{1 + \frac{D}{U}} \right) \right]$$

$$41: f(x) = IFR = \begin{cases} \text{Comprar,} & x < 30 \\ \text{Manter,} & x \in [30; 70] \\ \text{Vender,} & x > 70 \end{cases}$$

42: # Nota de recomendação (GC) com base no IFR para Comprar, Manter e Vender um ativo.

$$43: . Pi_c = \max\{M_{CL}^x, M_{CS}^x, M_{CH}^x\}$$

$$44: Pi_M = \max\{M_{ML}^x, M_{MS}^x, M_{MH}^x\}$$

$$45: Pi_V = \max\{M_{VL}^x, M_{VS}^x, M_{VH}^x\}$$

46: # Com a Nota Técnica calcula-se a preferência média

$$47: M_p = \begin{cases} \frac{Pi_c + N_c}{2}, \text{ onde } N_c = \left| \frac{100 \cdot (GC - 30)}{30} \right|, \text{ se } GC \in [0; 30) \\ \frac{Pi_M + N_M}{2}, \text{ onde } N_M = \left| \frac{100 \cdot (GC - 30)}{40} \right|, \text{ se } GC \in [30; 70] \\ \frac{Pi_V + N_V}{2}, \text{ onde } N_V = \left| \frac{100 \cdot (GC - 70)}{30} \right|, \text{ se } GC \in (70; 100] \end{cases}$$

48: # Calcular nota do desempenho provedor p.

$$49: TMD_{DES}^c = \frac{(Mp + (Mp \cdot R_{pt}))}{2}$$

50: # Calcular a nota de risco do provedor p.

$$51: R_{rsk}^c = (100 - TMD_{DES}^c)$$

52: **fim**

53: **Decisão max**  $TMD_{Des}^c$

#### 4.4 Considerações Finais

Este capítulo apresentou um modelo de risco com a possibilidade de utilizar a estrutura *R1* ou *R2* em cenários que permitam realizar a avaliação de uma proposta de serviço usando duas fontes de informações complementares: risco, confiança e reputação. A informação ligada à reputação de um provedor de serviço foi operacionalizada pelo modelo *Dossiê*. Esse último ampliou o modelo de reputação certificada de um agente avaliado, à medida que ele pode armazenar a referência das suas testemunhas e as avaliações recebidas por elas. Desta forma é possível calcular a reputação com uma única consulta ao agente avaliado. A informação ligada ao risco de um provedor permite modelar uma situação de incerteza e risco, uma vez que se pode derivar escalas de valores onde as medidas normalmente não existem. **Ao permitir probabilidades subjetivas de pessoas experientes, pode-se mudar o quadro de tomada de decisão, passando de uma situação de incerteza pura para um risco mensurável.**

Na estrutura *R1*, o modelo avalia além das preferências, a utilidade dos critérios. Para isso, baseia-se na proposta corrente de um dado agente provedor, na média da nota histórica do mesmo, no fator de ajuste de risco e no valor de ajuste de risco para a contratação de um serviço. A estrutura *R2* apresenta uma estrutura hierárquica genérica com base em preferências. Para isso, um agente cliente especifica um cenário econômico e define uma estrutura hierárquica de avaliação. Nessa estrutura, o cliente pode especificar tipos de comportamento que reflete seu perfil em dada situação, tais como: conservador, moderado ou agressivo. Nesse contexto, um cliente pode tomar a decisão com base no seu perfil e na situação que melhor lhe convém.

O Capítulo 5 apresenta uma técnica de otimização que se apoia em computação evolucionária quando há inconsistências nos pesos dos julgamentos que compõem as matrizes AHP.

# CAPÍTULO 5

## MODELO DE CONSISTÊNCIA PARA MATRIZ AHP

Este capítulo apresenta uma proposta – denominada AG-AHPR (Algoritmo Genético-AHP) – para a solução do problema de inconsistência em matrizes decisórias. Com base neste contexto, a Seção 5.1 examina a adoção do algoritmo genético como um mecanismo de busca da solução para o problema de inconsistência em matrizes AHP. A Seção 5.2 aborda a forma como problemas de julgamento multicritério resultam em matrizes descompensadas AHP. Com o propósito de resolver este problema, apresenta uma visão conceitual e genérica do modelo AG-AHPR proposto. A Seção 5.3 define o modelo com parâmetros e operadores genéticos para calcular e gerar matrizes com Razão de Coerência  $< 10\%$ . A combinação do conjunto de tais parâmetros possibilita em um dado espaço de busca, selecionar uma matriz similar à matriz de preferência original, mas, com Razão de Coerência  $< 10\%$ .

### 5.1 Considerações Iniciais

O algoritmo genético pode ser visto como um modelo computacional de pesquisa probabilística, baseia-se na evolução natural das espécies e que combina os conceitos de adaptação seletiva e sobrevivência dos mais capazes. É considerado uma boa técnica de otimização estocástica e talvez a mais significativa técnica de computação evolucionária. Sua aplicação em matrizes decisórias AHP permite detectar a inconsistência matricial (cf. Apêndice I), enquanto possibilita o fornecimento de soluções alternativas aos agentes clientes envolvidos no processo de tomada de decisão.

Nesta pesquisa, a abordagem AHP é utilizada para resolver problemas multicritério. Entretanto, tal abordagem é criticada por Ishizaka (2011), principalmente no procedimento de derivação de prioridade, pois algumas vezes defronta-se com a inconsistência dos julgamentos, impactando severamente na precisão e desempenho do método de priorização. Sendo assim, foi

adicionado aos modelos R1 e R2 um mecanismo com propósito de combinar o poder de um algoritmo genético com o AHP para gerar matrizes de julgamentos consistentes otimizadas. Os procedimentos que possibilitam criar e adequar tal mecanismo ao modelo de risco com as estruturas R1 e R2 são definidos a seguir.

## 5.2 Multicritério e o Problema Matricial AHP

O Capítulo 2 apresentou os métodos de apoio à decisão com princípios e metodologias específicas utilizadas quando a decisão envolve critérios qualitativos e quantitativos. Muitos desses métodos utilizam matrizes decisórias. Neste estudo, devido a natureza do problema ser multicritério, utiliza-se o método AHP que pode priorizar e hierarquizar alternativas ou critérios.

Entretanto, ao definir os julgamentos a matriz resultante pode ser inconsistente. A inconsistência pode acontecer devido a falhas na consistência das matrizes individuais, nos processos de incorporação dos resultados ou mesmo por acumulação de erros de precisão, dentre outras formas de inconsistência. Essa situação inviabiliza os resultados obtidos pelos modelos R1 e R2. Sem uma técnica de otimização dos parâmetros, quando a matriz é inconsistente, torna-se necessário reiniciar o processo de coleta de novas matrizes individuais, o que torna o processo muitas vezes inviável por diversas razões, entre as quais: tempo, custos operacionais, desgastes dos fornecedores dos julgamentos, entre outros.

A abordagem genética se apresenta como uma solução viável para esse tipo de problema, na medida em que se propõe a criar  $n$  soluções (matrizes similares), caso seja possível (cf. Figura 16), por meio de uma análise de perturbação nos valores da matriz original, com o propósito de satisfazer o modelo de consistência, i.e., gerar matrizes-solução com uma Razão de Coerência  $< 10\%$ .

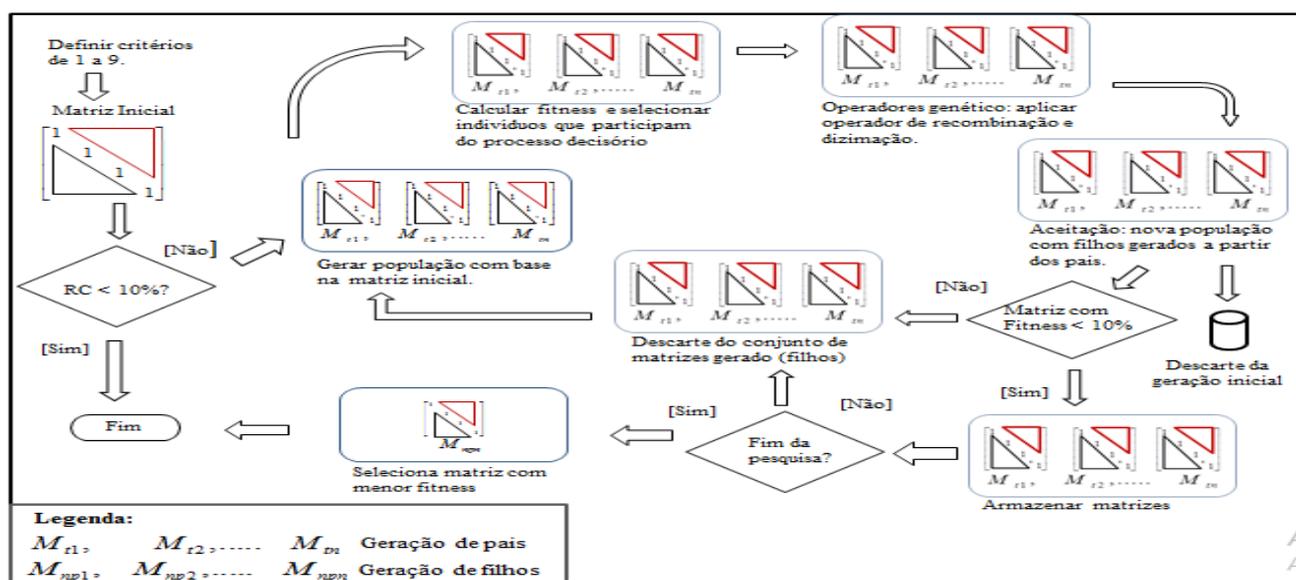


Figura 16. Esquema do algoritmo genético GA-AHP

Fonte: Dados da pesquisa, (2018)

Com base nestes pressupostos, a seguir, expõe-se o modelo de otimização com base no GA-AHPR.

### 5.3 Modelo GA-AHPR

A abordagem genética requer inicialmente que a matriz desejada seja preenchida pelo decisor com os valores desejados (e.g.. Tabela 1). A seguir, a matriz é codificada como uma série de bits. As perturbações acontecem em torno dos elementos da matriz, de forma que o número de bits necessários para codificar uma matriz é dado pelo seu número de elementos multiplicado pelo número de bits necessário para realizar as perturbações nos seus elementos. Este processo reduz significativamente o número de bits resultantes da codificação de uma matriz. O número de bits utilizado na codificação e a amplitude máxima (*range*) para a perturbação nos elementos das matrizes é feito por meio de parâmetros. Cada indivíduo de uma dada geração é recomposto na forma matricial. A não reciprocidade da matriz corresponde à medida do maior afastamento que um elemento da matriz possui em relação à condição ideal de reciprocidade.

A seguir são apresentados os passos dos processos realizados pelos parâmetros e operadores genéticos do modelo GA-AHPR.

#### Etapa de inicialização

Com base na matriz inicial (cf. Tabela 1):

Tabela 1. Preferências e recíprocos

	A	B	C	D
A	1	3	2	2
B	1/3	1	1	2
C	1/2	1/1	1	3
D	1/2	1/2	1/3	1

**Legenda:**

A: Preço

B: Quantidade

C: Prazo de entrega

D: Prazo de pagamento

é gerada de forma aleatória a população inicial contendo  $N$  indivíduos. Na matriz inicial, a diagonal principal permanece unitária e os parâmetros da diagonal superior podem variar a cada exemplo, com matrizes compostas de valores com pequenas perturbações. Os parâmetros da diagonal inferior são recíprocos à diagonal superior. A diagonal inferior é calculada a partir dos novos cromossomos. São matrizes quadráticas  $n \times n$ , onde  $n > 2$  com  $a_{ij}$  entre  $[0,9]$ . Após o cálculo da matriz (cf. Seção

4.2.2), o processo final requer a avaliação do cálculo da Razão de Coerência. Os valores no decorrer do processo se alteram, evoluem de forma natural e posteriormente são substituídos pelos valores da matriz inicial. A diversidade dos indivíduos na população inicial contribui para o modelo convergir mais facilmente para a solução. O algoritmo AG-AHPR gera matriz aleatória com base na matriz original e os números variam de 0 a 9 (Linhas 37 – 66). A seguir é apresentado em Java, exemplo de parte do algoritmo AG-AHPR que contém os parâmetros de inicialização da matriz genética.

Algoritmo AG-AHPR: informações da população inicial.

```

37 public void gerarAleatorio(Double[][] matriz) {
38     nova_matriz = new Double[matriz.length][matriz.length];
39     Double max = 0.0, min = 0.0;
40     cromossomo = new ArrayList<Double>();
41     for (int i = 0; i < matriz.length; i++) {
42         for (int j = 0; j < matriz.length; j++) {
43             if (i == j) {
44                 cromossomo.add(1.0);
45                 nova_matriz[i][j] = 1.0;
46             } else if (i < j) { //superior da matriz
47                 max = 9.0;
48                 min = 1.0;
49                 if (matriz[i][j] == 9) {
50                     max = 9.0;
51                     min = max - MatrizFrame.VARIACAO;
52                 } else if (matriz[i][j] == 1) {
53                     min = 1.0;
54                     max = min + MatrizFrame.VARIACAO;
55                 } else {
56                     max = matriz[i][j] + MatrizFrame.VARIACAO;
57                     min = matriz[i][j] - MatrizFrame.VARIACAO;
58                 }
59                 Double randomNum = min + (Double) (Math.random() * ((max - min)));
60                 nova_matriz[i][j] = randomNum;
61                 cromossomo.add(randomNum);
62             } else if (i > j) {
63                 Double r;
64                 r = 1 / matriz[j][i];
65                 nova_matriz[i][j] = r;
66                 cromossomo.add(r);
67             }
68         }
69     }

```

### Etapa de atribuição do valor de *fitness*

A função de aptidão requer uma avaliação do custo da informação encontrada para cada membro da população. Esta função atribui a cada indivíduo um valor com objetivo de adequá-lo ao problema estudado. A RC (**R**azão de **C**oerência) é quem avalia o grau de consistência da matriz. Aqui, utiliza-se RC para calcular a função *fitness* e pode ser representada por:  $F(t) = 1 - RC$ . O valor de RC varia no intervalo [0 ; 1]. Assim, o espaço de soluções calculadas determina que quanto menor for o valor de RC, maior é o equilíbrio dos parâmetros na matriz encontrada. Assim, mais apto estaria o



```

110 //porcentagem sobre total LINHA
111 for (i = 0; i < MatrizFrame.TAMANHO; i++) {
112     vetorH[i] = 0.0;
113     for (j = 0; j < MatrizFrame.TAMANHO; j++) {
114         vetorH[i] = vetorH[i] + matriz[i][j];
115     }
116     vetorH[i] = vetorH[i] / soma;
117 }
118 //SOMA COLUNA
119 for (j = 0; j < MatrizFrame.TAMANHO; j++) {
120     vetorV[j] = 0.0;
121     for (i = 0; i < MatrizFrame.TAMANHO; i++) {
122         vetorV[j] = vetorV[j] + matriz[i][j];
123     }
124 }
125 //*****
126 soma = 0.0;
127 for (i = 0; i < MatrizFrame.TAMANHO; i++) {
128     soma = soma + (vetorH[i] * vetorV[i]);
129 }
130 //*****
131 Double CI = (soma - MatrizFrame.TAMANHO) / (MatrizFrame.TAMANHO - 1);
132 Double CR = CI / RI[(MatrizFrame.TAMANHO - 1)];
133 setCusto(CR);
134 } catch (Exception e) {
135     System.out.println("Erro de avaliação : " + e);
136     setCusto(0.0);
137 }
138 }
139 public void avaliarFitness() {
140     avaliarCusto();
141     fitness = custo;
142     if (custo < 0.1 && custo > 0) {
143         MatrizFrame.LISTA_MATRIZ.add(nova_matriz);
144         MatrizFrame.RAZAO_MATRIZ.add(custo);
145     }
146     if (custo > 0 && custo < MatrizFrame.MENOR_CUSTO) {
147         MatrizFrame.MENOR_CUSTO = custo;
148         MatrizFrame.MATRIZ_MENOR = nova_matriz;
149     }
150 }
151 }

```

## Etapa de seleção

O operador seleciona os indivíduos aptos a se reproduzir. Esta pesquisa utilizou operador de seleção por roleta (cf. Apêndice I). O valor da aptidão representa o indivíduo na roleta e os indivíduos de maior aptidão recebem um intervalo maior na roleta, enquanto aqueles com mais baixa aptidão recebem menor intervalo. Cada indivíduo é associado a um *Ranking*  $R_i$ , sendo que:  $R_i = (N_i / S)^2$ , onde  $N_i$  é o número de indivíduos com aptidão menor que o do indivíduo  $i$  e  $N$  representam o número total de indivíduos na população.

No algoritmo AG-AHPR, a roleta é girada de forma aleatória  $n$  vezes e seleciona os indivíduos até obter os pares de cromossomos necessários para o cruzamento (linhas 620 a 633). Os melhores indivíduos são selecionados na (linha 632). A seguir é apresentado exemplo de parte do algoritmo genético AG-AHPR que trata da seleção por roleta.

#### Algoritmo AG-AHPR: Seleção por roleta

```

617     public Populacao selecaoRoleta(Populacao pop) {
618         try{
619             List<Individuo> selecionados = new ArrayList<Individuo>();
620             for (int j = 0; j < TAMANHO_POPULACAO; j++) {
621
622                 int soma = 0;
623                 for (Individuo i : pop.getIndividuos()) {
624                     soma += i.getCusto();
625                 }
626                 double r = Math.random();
627                 double somaP = 0;
628                 for (int i = 0; i < TAMANHO_POPULACAO; i++) {
629                     double x = pop.getIndividuos().get(i).getCusto() / soma;
630                     somaP += x;
631                     if (x < somaP) {
632                         selecionados.add(pop.getIndividuos().get(i));
633                         break;
634                     }
635                 }
636             }
637             return pop;
638         }
639         catch(Exception e){
640             System.out.println("Seleção roleta: " + e);
641             return null;
642         }
643     }

```

#### Etapa de cruzamento – ponto único (UP)

Esse operador apresenta apenas um ponto de corte entre dois genes de um cromossomo (cf. Apêndice D). Nesse estudo foi utilizado esse tipo de cruzamento por apresentar desempenho satisfatório.

No algoritmo AG-AHPR (linha 156), é sorteado um indivíduo para cruzamento, quando há chance, é selecionado dois pais e um ponto de corte é selecionado. No código, o cromossomo é composto por 3 genes e por conseguinte tem-se 2 pontos de corte possíveis (linha 172 – 205). O material dos pais é cruzado dando origem a novo cromossomo (linha 206 a 213). A seguir é descrito exemplo de parte do algoritmo AG-AHPR que contém cruzamento por ponto único.

## Algoritmo AG-AHPR: cruzamento ponto único (cruzamento UP)

```

153 public Populacao cruzamentoUP(Populacao nova_pop) {
154     try{
155         for (int j = 0; j < AG.TAMANHO_POPULACAO - 1; j += 2) {
156             double p = Math.random();
157             if (p <= chanceCruzamento) {
158                 Indivíduo pai1 = nova_pop.getIndividuos().get(j);
159                 Indivíduo pai2 = nova_pop.getIndividuos().get(j + 1);
160                 List<Double> solucaoPai1 = pai1.getCromossomo();
161                 List<Double> solucaoPai2 = pai2.getCromossomo();
162                 int x = (int) (Math.random() * (AG.TAMANHO_INDIVIDUO - 1)) + 1;
163                 Indivíduo filho1 = new Indivíduo();
164                 Indivíduo filho2 = new Indivíduo();
165                 List<Double> solucaoFilho1 = new ArrayList<Double>();
166                 List<Double> solucaoFilho2 = new ArrayList<Double>();
167                 List<Double> mapeamento1 = new ArrayList<Double>();
168                 List<Double> mapeamento2 = new ArrayList<Double>();
169                 mapeamento1.addAll(solucaoPai1.subList(0, x));
170                 mapeamento2.addAll(solucaoPai2.subList(0, x));
171                 for (int i = 0; i < TAMANHO_INDIVIDUO; i++) {
172                     if (i < x) {
173                         solucaoFilho1.add(solucaoPai2.get(i));
174                         solucaoFilho2.add(solucaoPai1.get(i));
175                         continue;
176                     }
177                     if (mapeamento2.contains(solucaoPai1.get(i))) {
178                         int index = mapeamento2.indexOf(solucaoPai1.get(i));
179                         solucaoFilho1.add(solucaoPai1.get(index));
180                     } else {
181                         solucaoFilho1.add(solucaoPai1.get(i));
182                     }
183                     if (mapeamento1.contains(solucaoPai2.get(i))) {
184                         int index = mapeamento1.indexOf(solucaoPai2.get(i));
185                         solucaoFilho2.add(solucaoPai2.get(index));
186                     } else {
187                         solucaoFilho2.add(solucaoPai2.get(i));
188                     }
189                 }
190                 filho1.setCromossomo(solucaoFilho1);
191                 filho2.setCromossomo(solucaoFilho2);
192                 filho1.avalieFitness();
193                 filho2.avalieFitness();
194                 if (filho1.getFitness() > pai1.getFitness()) {
195                     int index = nova_pop.getIndividuos().indexOf(pai1);
196                     nova_pop.getIndividuos().set(index, filho1);
197                 }
198                 if (filho2.getFitness() > pai2.getFitness()) {
199                     int index = nova_pop.getIndividuos().indexOf(pai2);
200                     nova_pop.getIndividuos().set(index, filho2);
201                 }
202             }
203         }
204         Collections.sort(nova_pop.getIndividuos());
205         return nova_pop;
206     }
207     catch (Exception e){
208         System.out.println("CruzamentoUP: " + e);
209         return null;
210     }
211 }

```

```

227     }
228 }

```

## Etapa de mutação

O operador de mutação procura garantir a continuidade da existência da diversidade genética na população, ao passo que o operador *crossover* colabora intensamente para a igualdade dos indivíduos. Quanto mais baixo for o valor do operador de mutação menor são os efeitos positivos e a população terá problemas com a diversidade depois de certo número de gerações, causando convergência genética. Em contrapartida, uma alta probabilidade nos valores, o operador terá um comportamento aleatório e perderá sua função. Percebe-se, portanto, que para cada tipo de problema é necessário identificar qual o valor (característica) mais apropriado para ser aplicado no operador de mutação.

A tarefa principal é descobrir um valor ótimo escondido em algum lugar, porém para cada matriz o valor se altera. Uma solução razoável é utilizar uma taxa de mutação que varie com o desenrolar da evolução do algoritmo. Nessa tese é utilizado o operador de mutação por troca –**Exchange Mutation** (cf. Apêndice I). Aqui, a taxa inicial de mutação utilizada é 0.5% a 1%, devido a razões históricas e se altera conforme os critérios utilizados em cada situação.

Na linha 421 do algoritmo AG-AHPR é feito o sorteio. A mutação acontece quando o parâmetro é menor que o número do sorteio (linhas 422 – 451). O operador testa o valor atual da posição (linhas 423 – 424) e de forma aleatória seleciona dois pontos (linhas 425 – 430). A troca de posição entre pai e filho acontece se a condição do filho for melhor (Linhas 432 – 451). A seguir é descrito exemplo de parte do algoritmo AG-AHPR que contém mutação por troca.

### Algoritmo AG-AHPR: mutação por troca (EM)

```

418     public Populacao mutacaoEM(Populacao pop) {
419         try{
420             for (int j = 0; j < AG.TAMANHO_POPULACAO - 1; j++) {
421                 double p = Math.random();
422                 if (p <= chanceMutacao) {
423                     Indivíduo pai = pop.getIndividuos().get(j);
424                     List<Double> solucaoPai = pai.getCromossomo();
425                     int x1 = (int) (Math.random() * (AG.TAMANHO_INDIVIDUO));
426                     int x2 = (int) (Math.random() * (AG.TAMANHO_INDIVIDUO));
427                     if (x2 < x1) {
428                         int x = x1;
429                         x1 = x2;
430                         x2 = x;
431                     }
432                     Indivíduo filho = new Indivíduo();
433                     List<Double> solucaoFilho = new ArrayList<Double>();
434                     for (int i = 0; i < TAMANHO_INDIVIDUO; i++) {
435                         if (i == x1) {

```

```

436         solucaoFilho.add(solucaoPai.get(x2));
437         continue;
438     }
439     if (i == x2) {
440         solucaoFilho.add(solucaoPai.get(x1));
441         continue;
442     }
443     solucaoFilho.add(solucaoPai.get(i));
444 }
445
446 filho.setCromossomo(solucaoFilho);
447 filho.avaliarFitness();
448
449 if (filho.getFitness() > pai.getFitness()) {
450     int index = pop.getIndividuos().indexOf(pai);
451     pop.getIndividuos().set(index, filho);
452 }
453 }
454 }
455 }
456 Collections.sort(pop.getIndividuos());
457 return pop;
458 }
459 }
460 catch(Exception e){
461     System.out.println("Mutação EM: "+ e);
462     return null;
463 }
464 }

```

### Condições de parada

A regra utilizada pelo algoritmo explora o espaço de busca e identifica qual função de avaliação é inferior a 10%. Dentre as matrizes encontradas, a escolhida é aquela com menor *fitness*, com valor mais próximo de zero. Quando não for encontrado  $fitness < 10\%$  o processo é inicializado novamente e executado por três vezes, caso persista esse resultado é necessário o decisor rever o julgamento dos critérios.

### Pré-requisitos de entrada do sistema de cálculo

A matriz de entrada deve ser quadrada e diagonal. O sistema lê a matriz do próprio ambiente. Inicialmente é necessário determinar o tamanho da matriz. As linhas seguintes devem conter cada uma, uma linha da matriz, sendo os elementos separados por espaços em branco (cf. Figura 18). Os valores dos parâmetros podem ser atribuídos via software, tais como: tamanho da população, taxa de cruzamento, taxa de mutação, número de gerações e o valor da variação (cf. Figura 17).

Figura 17. Parâmetros genéticos de entrada

Fonte: Dados da pesquisa, (2018)

Na etapa inicial o software GA-AHPR busca um arquivo que contém informações da diagonal superior da matriz inconsistente. Os dados de uma matriz 4 x 4 podem ser vistos na Tabela 13 e o arquivo com as informações de entrada na Figura 18.

Tabela 9. Matriz inicial

$$M_t = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 0.50 & 1 & 4 & 2 \\ 0.33 & 0.25 & 1 & 2 \\ 0.25 & 0.50 & 0.50 & 1 \end{bmatrix}$$

Fonte: O autor, (2018)

Matriz 4 x 4:			
Diagonal Superior:			
2	3	4	
4	2		
2			

Figura 18. Arquivo com informações de entrada

Fonte: O Autor, (2018)

## Saída do sistema

O sistema mostra as matrizes encontradas com suas respectivas Razão de Coerência, sendo que a matriz selecionada é aquela que for mais parecida com a matriz inicial, i.e., a matriz que tiver um *fitness* mais próximo de zero.

## 5.4 Fluxo de cálculos e decisões

O algoritmo AG-AHPR inicialmente define a matriz original por meio de julgamentos do decisor e caso o RC da matriz seja superior a 10%, passa então a buscar uma matriz genética com valores mais próximos à matriz original. Na realidade o algoritmo genético pode ser visto como um mecanismo que procura conciliar a necessidade/vontade do investidor quanto ao julgamento da matriz original, e

nesse sentido, busca para o agente cliente uma solução próxima do ideal, isto é, *fitness* menor que 10%. O pseudocódigo AG-AHPR pode ser resumido algoritmicamente por meio dos seguintes passos:

- i. Inicializa a população de cromossomos;
- ii. Avalia cada cromossomo da população;
- iii. Seleciona os pais para gerar novos cromossomos;
- iv. Aplica operadores de recombinação e mutação nos pais de forma a gerar indivíduos da nova geração;
- v. Apaga os velhos membros da população;
- vi. Avalia novos cromossomos inserindo-os na população; e
- vii. Se o tempo acabar, ou o melhor cromossomo satisfaz os requerimentos e desempenho as matrizes são armazenadas e no final o melhor *fitness* é selecionado, caso contrário, vai para o passo i.

Com base no resumo dos passos descritos de um algoritmo genético, a seguir é demonstrado o pseudocódigo do algoritmo genético AG-AHPR.

---

**Algoritmo AG-AHPR:** Pseudocódigo do algoritmo genético

---

01	<b>Entrada:</b> definir matriz $_{m \times n}$ quadrática e diagonal; gerar população inicial aleatória com $n$ cromossomos
02	julgar preferências par-a-par da diagonal superior da matriz $_{m \times n}$ ;
03	calcular índice de consistência e razão de coerência;
04	<b>função fitness:</b> avaliar função de custo $f(x)$ de cada cromossomo $x$ da população;
05	<b>repita:</b> criar uma nova geração do processo evolutivo
06	<b>Seleção roleta:</b>
07	<b>Início</b>
08	$T$ = soma dos valores de aptidão dos indivíduos da população $P$ ;
09	<b>repita</b> $N$ vezes para selecionar $n$ indivíduos;
10	$r$ = valor aleatório entre $0$ e $T$ ;
11	<b>percorrer</b> sequencialmente indivíduos de $P$ , acumulando em $S$ o valor de aptidão dos indivíduos já percorridos;
12	<b>se</b> $S \geq r$ <b>então</b> ;
13	<b>Selecionar</b> indivíduo de $P$ atual;
14	<b>fim_se</b> ;
15	<b>fim_repita</b> ;

---

16	<b>Fim</b>
17	<b>Cruzamento ponto único:</b>
18	<b>Início</b>
19	<b>inicializar</b> população $P$ ;
20	<b>repita</b>
21	<b>selecionar</b> uma subpopulação $P$ ; //pais da próxima geração
22	<b>para</b> $i \leftarrow 1$ <b>até</b> $nr\_cruzamento$ <b>faça</b>
23	<b>escolha</b> $S_1, S_2 \in P$ , aleatoriamente;
24	$filho \leftarrow$ cruzamento( $S_1, S_2$ );
25	<b>se</b> $f(S_1) \geq f(S_2)$ <b>então</b> $S_{aux} \leftarrow S_1$ ;
26	<b>senão</b> $S_{aux} \leftarrow S_2$ ;
27	<b>se</b> $f(S_{aux}) \geq f(filho)$ <b>então</b>
28	$filho$ substitui $S_{aux}$ em $P$ ;
29	<b>fim_se</b> ;
30	<b>fim_para</b> ;
31	<b>fim_repita</b>
32	<b>Fim</b>
33	<b>Mutação por troca:</b>
34	<b>Inicializar</b> população $P$ ;
35	<b>para</b> $i \leftarrow 1$ <b>até</b> $nr\_mutações$ <b>faça</b>
36	selecionar cromossomo $S_1$ e $S_2$ de $P$ ;
37	$S_{aux} \leftarrow S_1$ ;
38	$S_1 \leftarrow S_2$ ;
39	$S_2 \leftarrow S_{aux}$ ;
40	$S_1$ e $S_2 \leftarrow$ aplicar mutação;
41	<b>fim_para</b> ;
42	<b>Aceitação:</b> formar nova população com filhos selecionados;
43	<b>Substituir:</b> calcular novo <i>fitness</i> de cada indivíduo da população;
44	<b>Teste_1:</b> se condição de <b>parada</b> for atendida <b>então</b> linha 44 <b>senão</b> armazenar em <b>vetor</b> matriz com fitness < 10% e <b>vai</b> para linha 9;
45	<b>Teste_2:</b> se vetor = 0 <b>vai</b> para linha 01 <b>senão</b> escolhe matriz com menor fitness;
46	<b>Saída:</b> define matriz genética como a mais próxima da matriz original;

## 5.5 Considerações Finais

Com base na revisão de literatura, descrita no Capítulo 3, o corrente capítulo apresentou os parâmetros do método de busca de consistência da matriz de julgamentos AHP. Como quadro teórico, utilizou-se a abordagem genético para otimizar tal matriz, cujo processo consiste em gerar diferentes matrizes próximas a matriz original e adotar a matriz cuja a Razão de Coerência é a mais próxima de zero, observando como teto superior 10%. No experimento (Seção 6.5), tanto os parâmetros como os operadores genéticos são detalhados e as etapas necessárias para a execução do algoritmo. A seguir são apresentados e discutidos os experimentos realizados, exercitando o modelo de risco com as estruturas **R1** e **R2** juntamente com o modelo de confiança e reputação *Dossiê*.

# CAPÍTULO 6

## AVALIAÇÃO E ANÁLISE

Este capítulo tem o intuito de discutir os resultados obtidos nos experimentos. Estes últimos foram projetados para avaliar o modelo de risco, confiança e reputação com as estruturas R1 e R2. Em seguida são apresentados os experimentos e os resultados usando o algoritmo AG-AHPR para otimizar as matrizes do modelo de risco.

### 6.1 Metodologia da Avaliação

Esta pesquisa utiliza uma base de dados disponível no grupo de pesquisa de Agentes de Software do PPGIA da PUCPR. A base de dados é composta por ações negociadas na Bovespa. O acervo de dados utilizados compreende os exercícios de 2011 a 2016. Tal acervo contém 57.350 ações com 1.538.836 cotações. Deste acervo, optou-se por utilizar um subconjunto formado por aquelas ações que compõem o índice Bovespa; i.e., as ações mais negociadas no mercado brasileiro, que são:

```
VALE3 VALE5 ABEV3 BBAS3 BBDC3 BBDC4 BBSE3 BRAP4 BRFS3 BRKM5 BRML3 BVMF3 CCRO3 CESP6
CIEL3 CMIG4 CPFE3 CPLE6 CSAN3 CSNA3 CTIP3 CYRE3 ECOR3 EMBR3 ENBR3 EQTL3 ESTC3 FIBR3
GGBR4 GOAU4 HGTX3 HYPE3 ITSA4 ITUB4 JBSS3 KLBN11 KROT3 LAME4 LREN3 MRFG3 MRVE3
MULT3 NATU3 OIBR3 PCAR4 PETR3 PETR4 QUAL3 RADL3 RENT3 RUMO3 SANB11 SBSP3 SMLE3
SUZB5 TBLE3 TIMP3 UGPA3 USIM5 VIVT4 WEGE3
```

O cenário experimental é de um sistema multiagente, em que há agentes que consomem serviços e outros que provêm tais serviços. É um cenário competitivo na medida em que os agentes provedores concorrem entre si. É também um cenário incerto na medida em que o aumento ou a redução dos recursos empreendidos – por parte do contratante de serviço – estão sujeitos os bons serviços contratados. O esforço aqui é avaliar o desempenho, em particular, do cliente em compor

corretamente risco, confiança e reputação vis-à-vis ao seu objetivo. Deve-se notar que o risco é decomposto em níveis, logo a dificuldade está em adequar em consonância com tais níveis.

O domínio de aplicação para ilustrar os experimentos é o mercado de ativos. Assim, cada agente provedor  $p$  é um especialista em recomendações de investimentos; de forma simplificada, cada recomendação consiste, sobre um dado ativo, em opinar se o mesmo oferece uma oportunidade de compra, venda ou manutenção de posição. Por outro lado, cada agente cliente tem interesse em obter boas recomendações de investimento; a contratação de uma recomendação se dará pelo menor risco ou maior desempenho e maior confiança e reputação. Cada agente provedor tem o seu desempenho medido pelos *feedbacks* de seus clientes.

Do lado do cliente, embora as duas estruturas propostas operem com risco e utilizem o mesmo mecanismo de confiança e reputação, elas são dotadas de características e mecanismos diferentes para lidar com a incerteza (cf. Capítulo 4). E ambos os mecanismos utilizam estratégias, baseadas em algoritmo genético (cf. Capítulo 5), para otimizar as matrizes julgadas, quando necessário.

Dado o exposto, inicialmente é apresentado e avaliado cada experimento com seus resultados considerando o modelo de risco, confiança e reputação R1. Em seguida, o mesmo protocolo experimental é feito considerando o modelo de risco, confiança e reputação R2 – que inclui a definição de um cenário de preferências e utiliza uma estrutura hierárquica. Em seguida o modelo R2 avalia a viabilidade técnica da proposta do  $p$  para a tomada de decisão. E, finalmente, a estratégia de otimização de julgamentos é colocado em operação e avaliado o desempenho global.

## 6.2 Experimentos e Resultados do Modelo R1

Considere um sistema onde agentes contratantes – ou clientes – negociam com agentes provedores  $p_1, p_2, p_3, p_4$  e  $p_5 \in P$ , na bolsa de valores. Cada agente cliente pode ser visto como um representante virtual de um investidor. Ele pode contratar e avaliar serviços dos agentes provedores – ou especialistas em recomendações de investimento. Para ilustrar o processo de avaliação, inicialmente um cliente seleciona cinco atributos usados para descrever a evolução histórica de cada ativo considerado:

1. Preço de abertura ( $p_1$ )
2. Maior alta ( $p_2$ )
3. Maior baixa ( $p_3$ )
4. Preço de fechamento ( $p_4$ )
5. Volume de títulos negociados ( $p_5$ )

A Tabela 14 define, já em forma de pesos “aleatórios”, as preferências de um cliente vis-à-vis aos experimentos A, B, C e D. Tais pesos vão permitir compor estratégias para tentar buscar o melhor retorno com menor risco face a uma determinada recomendação de ativo/investimento de  $p$ .

Tabela 10. Configuração da preferência dos dados

<i>Preferências</i>	<i>Peso AHP</i>			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
$P_1$	0.11	0.53	0.24	0.13
$P_2$	0.09	0.06	0.24	0.11
$P_3$	0.07	0.06	0.10	0.25
$P_4$	0.43	0.26	0.23	0.30
$P_5$	0.28	0.07	0.16	0.19

Fonte: Dados da pesquisa, (2018).

A Tabela 15 define os parâmetros relacionados às dimensões: risco, reputação e índice IFR (Índice de Força Relativa). Os intervalos de valores definem os perfis de um agente  $c$  como: conservador, moderado ou agressivo.

Tabela 11. Parâmetros de configuração de um agente cliente

Dimensão	Conservador	Moderado	Agressivo
Risco	[0; 0.34)	[0.34; 0.67)	[0.67; 1]
Confiança	[0.51; 1]	[0.51; 1]	[0.51; 1]
IFR/Comprar	[0; 0.30)	[0.30; 0.32)	(0.32; 0.33]
IFR/Vender	(0.70; 1]	(0.67; 0.70]	[0.65; 0.67]

Fonte: Dados da pesquisa, (2018).

Na sequência são descritos dois cenários. Em ambos os casos também são avaliados a efetividade da aplicação do modelo de risco AHP: No Cenário I,  $c$  avalia a utilidade de recomendações sem risco e com risco. No Cenário II,  $c$  atua compondo sua decisão com dados de risco AHP, reputação e IFR – informação de domínio de aplicação.

## CENÁRIO I

Foram executados 1000 *rounds*, cada *round* representou a movimentação de um dia de um ativo, por exemplo,  $X_1$ ; neste espaço de tempo, uma ou mais recomendações podem ser emitidas por  $p$ . Aqui,  $c$  calcula a utilidade dos parâmetros sem risco e com risco tomando como base as suas preferências (cf.

Tabela 14). O cálculo de utilidade (cf. Tabela 16) permite a  $c$  em cada operação avaliar a situação do ativo  $X_1$  em foco e como consequência qual o tipo de comportamento a adotar.

Tabela 12. Utilidade calculada pelo agente cliente/investidor sem risco e com risco sobre ativo  $X_1$  – recomendado por um agente provedor  $p$ .

Rounds: 1000	Sem Risco %			Risco AHP %		
	Conservador	Moderado	Agressivo	Conservador	Moderado	Agressivo
Experimento A	2,50%	5,30%	92,20%	64,90%	32,40%	2,70%
Experimento B				80,60%	17,60%	1,80%
Experimento C				32,60%	64,60%	2,80%
Experimento D				61,30%	35,30%	3,40%
			Média	59,85%	37,47%	3,37%

Fonte: Dados da pesquisa, (2018).

Quando  $c$  desconsidera o risco a sua exposição é elevada com 92,20% – agressivo – contra 2,50% – conservador. A causa se deve à falta de informação adicional que possa assegurar o melhor momento para negociar o ativo. Por outro lado,  $c$  calcula e compara a utilidade com a nota de risco considerando a qualidade da recomendação do agente  $p$ . Em média os experimentos A, B, C e D de  $c$  foram 59,85% mais conservador, 37,47% mais moderado e 2,67% agressivo. O cálculo do risco com base em utilidade opera no sentido de indicar valores para proteger a tomada de  $c$ , mesmo quando se aceita uma determinada perda, na expectativa de aumentar os rendimentos. A Figura 19 e a Figura 20 ilustram o comportamento de  $c$  em termos de desempenho face ao ativo  $X_1$ , considerando as configurações sem risco e risco.

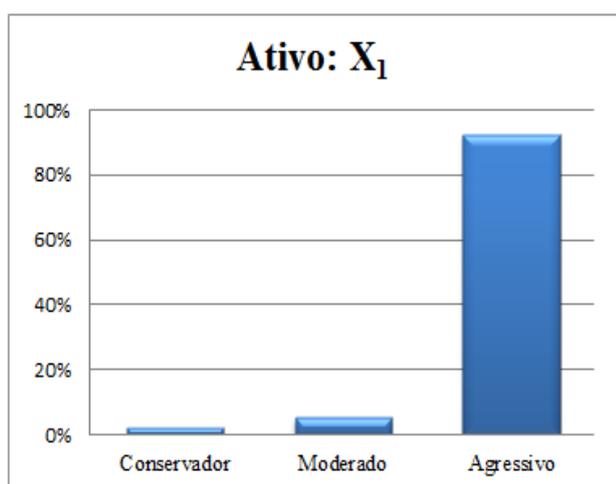


Figura 19. Cenário sem risco  
Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

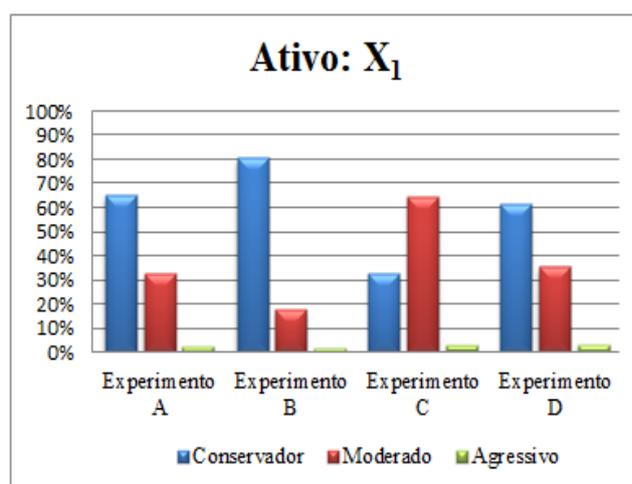


Figura 20. Cenário com risco  
Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Na Figura 20,  $c$  adotou uma postura mais conservadora no experimento B, com 80,60%. Por outro lado, os parâmetros do experimento C, permitiram o agente cliente adotar um comportamento

moderado com 64,60%. Essa estrutura permite o agente cliente obter um controle maior do risco. Com esses resultados pode-se decidir a favor de uma proposta a partir da maior utilidade sem levar em conta expressamente o risco envolvido. Todavia, essa decisão pode ser potencialmente catastrófica em um cenário incerto.

## CENÁRIO II

O agente cliente  $c$  avalia a utilidade de cada recomendação proposta de agente provedor  $p$  com base nos seus parâmetros locais (cf. Tabela 14). Os diferentes cálculos foram realizados seguindo o Algoritmo A1 e 4 experimentos foram executados com 4 ativos —  $X_1$ : 250 rounds,  $X_2$ :500 rounds,  $X_3$ :750 rounds e  $X_4$ : 1000 rounds — (cf. Tabela 17). A avaliação considerou o uso da utilidade com *Risco* AHP, confiança e reputação por *Dossiê* e *IFR*. Os valores dos critérios  $A$ ,  $B$ ,  $C$  e  $D$  nos experimentos, foram calibrados de forma diferente para avaliar qual deles apresentava a melhor utilidade. Em cada um dos experimentos foram avaliados três cenários, que correspondem aos perfis: *conservador*, *moderado* e *agressivo*. Tais perfis representam os valores ganhos e prejuízos na carteira de investimentos.

Deve-se observar que as 16 execuções apresentaram valores negativos. Entretanto, como esperado, tais valores ocorreram em diferentes perfis. Para o perfil *conservador*, ocorreram valores negativos em apenas três execuções (cf. Tabela 17,  $X_1$ :  $C$ ;  $X_3$ :  $C$  e  $X_4$ :  $B$ ), quando o agente cliente opera com baixo risco e alta reputação; 89.01% das operações no portfólio do cliente foram positivas. De 34.58% das operações no comportamento *conservador*, apenas 3.80% foram negativas com os valores variando de [-1.10, 3.86], isto é 4.96%. Para o perfil *moderado*, quando o agente cliente operava com risco moderado e alta reputação (“mais vulneráveis aos riscos de mercado”), ocorreram resultados negativos em cinco execuções (cf. Tabela 17,  $X_1$ : $D$ ,  $X_2$ : $A$ ,  $X_2$ : $B$ ,  $X_3$ : $C$  e  $X_4$ : $A$ ); 67,89% das operações foram positivas. A variação dos valores foi de [-2.90, 3.80], isto é 6.70%. De 30.68% das operações no comportamento *moderado*, 9.85% foram negativas, com um acréscimo de 159.21% operações negativas sobre o comportamento *conservador*. Para o perfil *agressivo*, quando o agente cliente operava com alto risco e alta reputação, ele ficou mais vulnerável. Ocorreram três vezes mais execuções com valores negativos do que o perfil *conservador* (cf. Tabela 17,  $X_1$ : $C$ ,  $X_2$ : $A$ ,  $X_2$ : $B$ ,  $X_3$ : $A$ ,  $X_3$ : $D$ ,  $X_4$ : $A$  e  $X_4$ : $D$ ); 26.66% das operações foram positivas. A variação dos valores nesse tipo de comportamento foi de [-4.34, 5.10], isto é 9.44%. De 33.34% das operações no comportamento *agressivo*, 24.45% foram negativas, com um acréscimo nas operações negativas de 148.22% sobre o comportamento *moderado*. A diferença de variação de valores negativos do comportamento *conservador* para o *agressivo* é ainda maior, com 543.42%.

Quanto à quantidade de rounds dos ativos  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  e  $X_4$ , por exemplo, de 250 para 1000, buscou-se executar o experimento com números diferentes a fim de saber se há uma diferença

relevante nos resultados pesquisados. Nesse viés percebeu-se que não houve uma diferença significativa de acordo com a quantidade de rounds. Em resumo, a qualidade dos valores quanto ao resultado, independe da quantidade de rounds no experimento.

Tabela 13. Portfólio de investimento – agente cliente

Ativos	Rounds	Experimentos	Conservador %	Moderado %	Agressivo %
X <sub>1</sub>	250	A	3.10	1.50	4.80
		B	3.86	2.32	3.47
		C	-1.10	2.10	-2.60
		D	2.20	-2.30	3.60
X <sub>2</sub>	500	A	3.85	-1.80	-3.85
		B	2.03	-1.25	-2.85
		C	0.05	3.25	5.10
		D	3.45	3.67	2.01
X <sub>3</sub>	750	A	2.40	3.10	-5.10
		B	3.10	2.70	3.34
		C	-1.25	-2.90	4.22
		D	3.24	3.20	-2.06
X <sub>4</sub>	1000	A	2.15	-1.60	-4.34
		B	-1.45	2.36	3.20
		C	2.48	3.80	3.60
		D	2.67	2.68	-3.65
<b>Total % de rounds positivos:</b>			<b>34.58</b>	<b>30.68</b>	<b>33.34</b>
<b>Total % de rounds negativos:</b>			<b>-3.80</b>	<b>-9.85</b>	<b>-24.45</b>
<b>Varição % no portfólio do cliente:</b>			<b>89.01</b>	<b>67.89</b>	<b>26.66</b>

Fonte: Fonte. Dados da pesquisa, (2018).

O perfil *conservador* fornece ao agente cliente maior rentabilidade. Dos três perfis, o *conservador* foi o mais interessante, na medida em que a margem de risco era baixa e o ganho foi maior que os demais (cf. Tabela 17 e Figura 21); embora ocorressem perdas em três *rounds*. Em suma, por um lado, pode-se dizer que o conservadorismo resultou em bons ganhos. A Figura 21 denota que os extremos são, na maior parte, gerados pelo perfil *agressivo*. Esse perfil tende a gerar valores extremos devido ao tipo de risco a que se expõe, isto é, ganho maior e perda maior. Em síntese, as alternâncias de extremos gerou o resultado de 62.35% (89,01% - 26.66%) menor do perfil

*agressivo* para o perfil *conservador* e 41.23% (67.89% - 26.66) menor do perfil *agressivo* em relação ao perfil *moderado*.

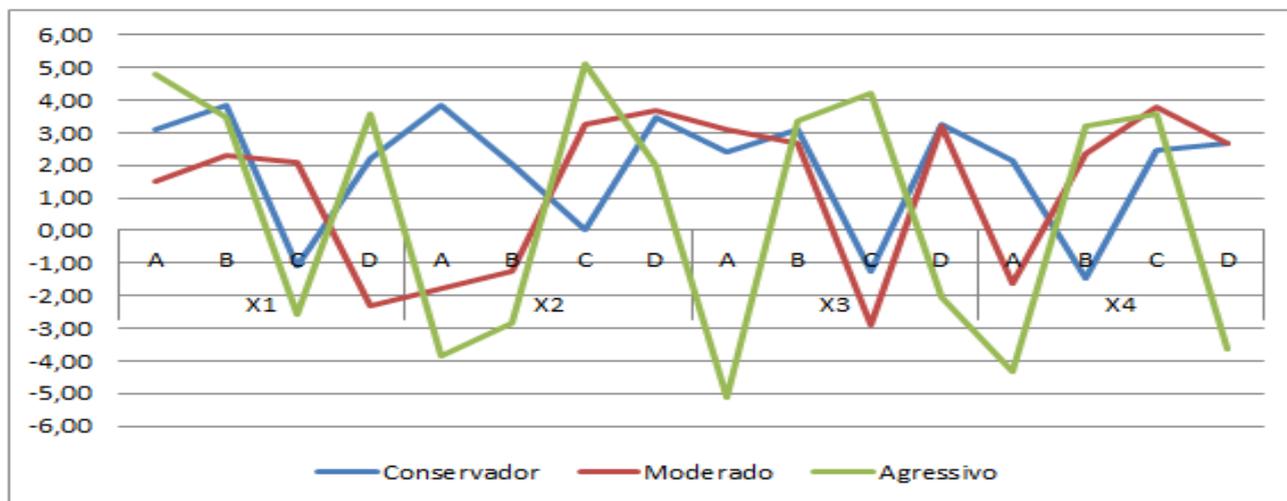


Figura 21. Relação temporal de desempenho do portfólio do agente cliente

Fonte: Dados da pesquisa, (2018).

Este experimento permite analisar e discutir os resultados obtidos pelo modelo R1, a seguir.

### 6.2.1 Discussão sobre o modelo R1

Esta abordagem parte do princípio que a análise de sensibilidade dos critérios é ajustada pelo agente cliente. Neste caso, a escolha dos critérios e o risco que eles representam no processo de modelagem é definido pelo projetista ou especialista do agente cliente. O modelo R1 foca no risco inerente à natureza das alternativas e estados da natureza, e não no risco inerente à natureza do processo de modelagem. Em outras palavras, a tomada de decisão sobre quais critérios serão selecionados para compor o modelo de risco é uma decisão do cliente/investidor e não do modelo de risco. Tal tomada de decisão do cliente/investidor, por exemplo, pode ser pessoal, técnica ou financeira. Acrescentando ainda que, na decisão do cliente incide também, além do tipo de comportamento, as suas preferências.

O modelo R1 mostrou que mensurar o risco, protege o portfólio de investimentos e orienta o agente cliente por meio de índice de confiança e reputação. Usa um procedimento de ajuste de risco e assegura que os valores AHP antes do **ajuste**, reflitam o desempenho médio histórico esperado de cada alternativa. Visto que, durante o processo de comparação inicial entre os valores das preferências do cliente e a proposta de um provedor, R1 considera o desempenho médio esperado

histórico da alternativa e ignora a variação dos extremos, na medida que o procedimento de ajuste de risco trata esse aspecto.

Este contexto permite o agente cliente assumir comportamentos distintos com diferentes graus de risco, sendo *conservador*, *moderado* ou *agressivo* na tomada de decisão. Deve-se observar que os *rounds* negativos ocorreram em consequência do risco de mercado e, nesse sentido, o modelo R1 conseguiu minimizar seu efeito por meio dos seus indicadores. Outro importante objetivo foi os diferentes valores dos critérios dos experimentos *A*, *B*, *C* e *D*. Ao traçar diferentes estratégias nos experimentos, o agente cliente pôde avaliar antes de interagir o risco das interações e estimar probabilidades antes do processo de negociação.

Ao decidir a favor de uma proposta com a maior utilidade sem levar em conta expressamente o risco envolvido, o modelo mostrou que pode ser uma modelagem enganosa. Adicionalmente, mostrou também que o ponto de referência por meio da utilidade média, permitiu considerar a relação Benefício/Risco e, conseqüentemente, orientar o agente cliente na tomada de decisão.

A seguir é exercitado o modelo R2, que envolve risco, confiança e reputação e priorização de objetos por meio de uma estrutura hierárquica.

### 6.3 Experimentos do Modelo R2

Inicialmente, escolhe-se um tipo de cenário e definem-se as preferências levando em conta condições ambientais, como por exemplo: baixo risco (LR), indiferente (SQ) e alto risco (HR). Em seguida, atribui-se um conjunto de pesos aos demais níveis (cf. Figura 22), como: Nível 2, representado um conjunto de setores da economia (e.g., Elétrico Mineração, Telefonia); Nível 3, representado um conjunto de ativos estratificado por setor econômico (e.g., {{CPL6, CMIG4}, {VALE5, CSAN3}, {TIMP3, VIVT4, OIBR3}}) e; Nível 4, descrevendo atividades na perspectiva de avaliação de operações de investimento, por exemplo, comprar, manter ou vender um dado ativo.

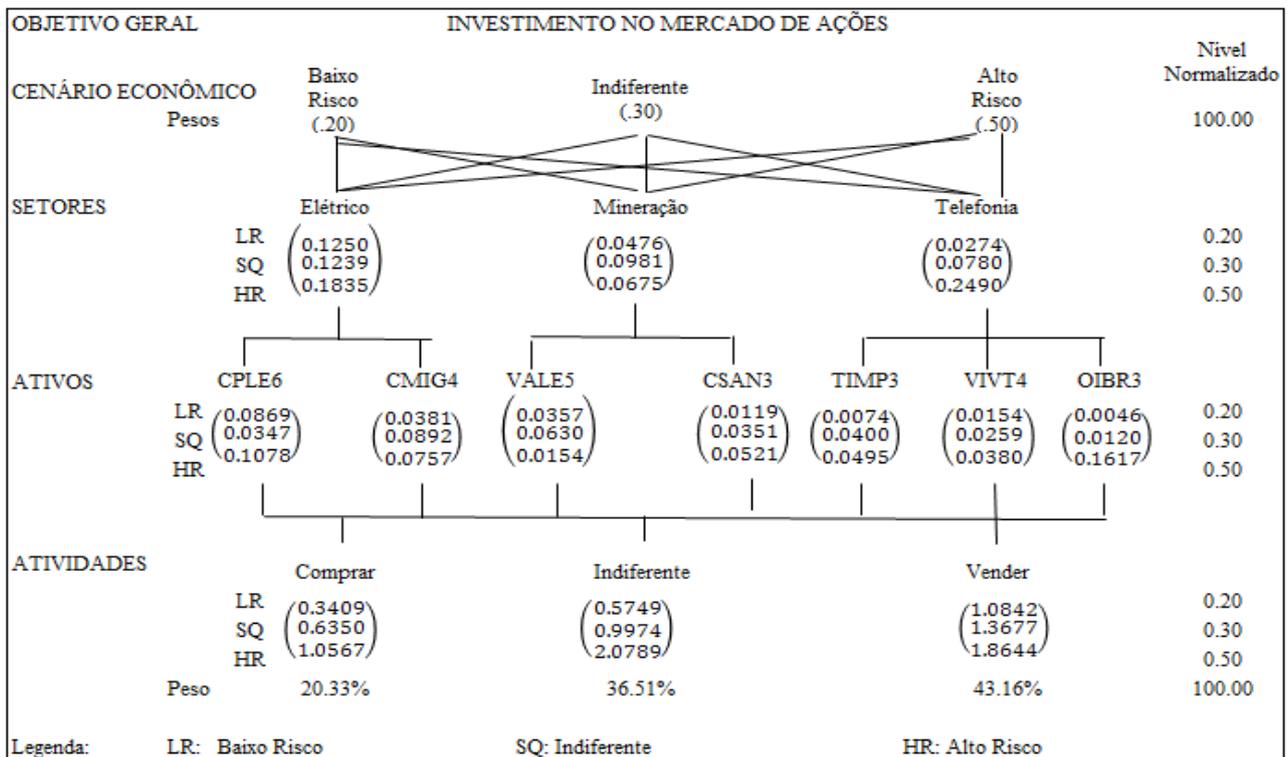


Figura 22. Preferências de um agente cliente em termos de cenário econômico, setor, ativo e atividade/tomada de decisão. Fonte: Dados da Pesquisa, (2018)

A **Figura 22** representa o cenário econômico definido por um cliente, por meio do qual ele avalia o risco das suas preferências e toma decisões; a cada *round* tais cálculos se repetem. Esses valores, conforme discutidos anteriormente, formam a base para o cálculo da utilidade e risco de cada oferta recebida de um ou mais agentes provedores.

O experimento corrente utilizou o conteúdo da **Tabela 15** para definir os parâmetros que compõem as dimensões de confiança, reputação e risco na carteira de investimentos do agente cliente. Assim como os intervalos de valores definiram os perfis: *conservador* (baixo risco), *moderado* (status quo) ou *agressivo* (alto risco).

A abordagem corrente foi operacionalizada pelo Algoritmo A2 que executou os processos que constam na **Figura 22** e de acordo com o cenário proposto, três cenários foram avaliados: conservador, moderado e agressivo.

### 6.3.1 Resultados

O portfólio de investimentos do cliente de uma forma geral retrata o perfil, as estratégias adotadas, tolerância ao risco e retrata também as flutuações do mercado. Com esse pressuposto, foram examinadas 21 ocorrências (cf. Tabela 18) para as atividades *comprar*, *manter* e *vender*. Todas as atividades apresentaram valores negativos.

Na atividade *comprar*, ocorreu valores negativos em quatro execuções (cf. Tabela 18: CPLE6: HR; VALE5: SQ; CSAN3: HR e VIVT4: HR). A atividade *comprar* teve um desempenho superior às operações *manter* e *vender*, com 86.32%. Destacou-se o setor elétrico com desempenho da atividade *comprar* 22.37%. A média geral na atividade *comprar* (setores: elétrico, mineração e telefonia) foi 18.87%, rendimento 8.67% superior sobre o setor de mineração e 1.83% sobre elétrico.

A atividade *manter* apresentou valores negativos em seis execuções (cf. Tabela 18: CMIG4: SQ; CSAN3: LR e HR; TIMP3: HR; VIVT4: LR e HR). O desempenho geral nesse segmento foi 66.95%, inferior 19.94% a atividade *comprar*. A média geral das operações foi de 13.63%. Aqui, destaca-se o setor elétrico, com 27.43%, com resultado 17.57% superior às operações do setor de mineração e 23.84% superior sobre telefonia.

A atividade *vender* exibiu valores negativos em nove execuções (cf. Tabela 18: CPLE6: HR; CMIG4: LR e SQ; VALE5: LR; CSAN3: HR; VIVT4: LR e HR e OIBR3: SQ e HR). Essa atividade apresentou um desempenho geral de 42.27%, inferior, portanto, às atividades *comprar* e *manter*. O destaque positivo ficou para o setor elétrico, com desempenho de 17.62% e o destaque negativo ficou para o setor de telefonia que obteve o rendimento de -0.63%. A média geral das operações também foi inferior às atividades *comprar* 18.87% e *manter* 13.63%.

Tabela 14. Portfólio de investimento de um cliente

Cenário Econômico: 1000 rounds						
Perfil	Setores	Ativos	Preferências	Comprar (%)	Manter (%)	Vender (%)
Conservador (Baixo risco)	Elétrico	CPLE6	LR	32.70	36.20	45.70
			SQ	40.60	52.30	36.40
			HR	-18.90	22.70	29.60
		CMIG4	LR	38.50	42.50	-16.50
			SQ	20.30	-12.50	-18.50
			HR	21.00	23.40	29.00
Desempenho médio do setor elétrico:				26.06%	27.43%	17.62%
Moderado	Mineração	VALE5	LR	32.00	22.90	-33.40
			SQ	-14.50	23.60	14.40
			HR	34.80	28.90	35.90
		CSAN3	LR	21.20	-29.00%	36.40

			SQ	26.60	23.60	46.20
			HR	-17.90	-10.80	-32.20
Desempenho médio do setor mineração:				15.96%	9.87%	12.13%
Agressivo (Alto risco)	Telefonia	TIMP3	LR	17.70	19.60	27.80
			SQ	26.50	22.50	14.50
			HR	16.10	-26.60	29.30
		VIVT4	LR	18.70	-27.40	-35.70
			SQ	26.50	27.80	28.90
			HR	-12.30	-20.10	-23.60
		OIBR3	LR	23.10	12.50	21.70
			SQ	31.90	13.90	-32.80
			HR	36.60	10.10	-35.80
Desempenho médio do setor telefonia:				23.92%	3.59%	-0.63%
<b>Média geral das operações:</b>				18.87%	13.63%	9.70%
<b>Desempenho geral das atividades:</b>				<b>86.32%</b>	<b>66.95%</b>	<b>42.27%</b>

Fonte: Dados da pesquisa, (2018).

A Tabela 19 evidenciou o tipo de comportamento (*conservador, moderado* ou *agressivo*), quando o agente cliente definiu as atividades comprar, manter ou vender ativos, dos setores: elétrico, mineração e telefonia. Os valores da Tabela 19 são oriundos da Tabela 18.

No perfil *conservador* (cf. Tab. 18 e Tab. 19), quando a parte cliente operou com baixo risco e alta reputação vis-à-vis a parte provedora de recomendações, destaca-se a atividade comprar (LR) 91.56%. Esse comportamento apresentou o desempenho 85.27%. No portfólio do cliente, mais especificamente a Tabela 18, em alguns *rounds* a dinamicidade do mercado contrariou as preferências do cliente, ocasionando perdas. Isso ocorreu, por exemplo, com o ativo {CPLE6, comprar: HR}, quando o agente cliente assumiu perfil conservador e mesmo assim houve perdas. Embora o resultado parcial tenha sido negativo com -18.90%, em LR e SQ o resultado final foi positivo. Quando aconteceu essa situação, o cálculo de risco e a recomendação do provedor por meio da nota técnica atuaram no sentido de minimizar as perdas no portfólio de investimentos do cliente.

No perfil *moderado*, a parte cliente operou com risco *moderado* e alta reputação vis-à-vis a parte provedora de recomendações, com vulnerabilidade de risco de mercado elevada (cf. Tabela 18 e Tabela 19). Nesse perfil ficou evidenciado manter: (SQ), com 89.21%. O desempenho foi 57.53% inferior ao tipo *conservador* 27.74%. É importante ressaltar que nem sempre o comportamento neutro da parte cliente impacta em benefício, há perdas também.

Para o tipo *agressivo*, quando o cliente de serviço operou com alto risco e alta reputação vis-à-vis aos provedores, ficou altamente vulnerável aos riscos de mercado (cf. Tabela 18 e Tabela 19).

Esse perfil apresentou o menor rendimento médio das operações, com 49.52%. Vale a pena salientar que o comportamento *agressivo* da parte cliente não encerra necessariamente em benefício, há perdas mais significativas que nos demais perfis. Em relação ao tipo *conservador* o desempenho foi inferior 44.05% e, *moderado* 24.69%.

Tabela 19. Tipo de comportamento definido pelo agente cliente no cenário econômico

Perfil	Setor	Cenário	Soma valores perfil positivo (%)	Soma valores perfil negativo (%)	Desempenho (%)	Desempenho médio
Conservador	Elétrico	LR	195.60	-16.50	91.56	85.27%
		SQ	149.60	-31.00	79.28	
		HR	125.70	-18.90	84.96	
Moderado	Mineração	LR	112.50	-62.40	44.53	57.53%
		SQ	134,40	-14.50	89.21	
		HR	99,60	-60.90	38.86	
Agressivo	Telefonia	LR	141.10	-63.10	55.28	49.52%
		SQ	192.50	-32.80	82.96	
		HR	92.10	-82.60	10.31	

Fonte: Dados da pesquisa, (2018).

O perfil *conservador* norteou o comportamento da parte cliente para a obtenção de um resultado com maior segurança e menor risco. O fato de arriscar-se menos torna esse perfil mais atraente. Embora a margem de risco tenha sido baixa e rentabilidade menor, o ganho foi maior que os demais perfis; mesmo ocorrendo perdas em quatro *rounds*. A maioria dos investidores tem aversão à perda (HART e HOLMSTROM, 2016), isso faz com que o comportamento da parte cliente/investidor, na tomada de decisão, opte por ser *conservador*. Em resumo, em longo prazo o conservadorismo protege o capital e reflete em bons ganhos e a agressividade pode não refletir em bons ganhos.

De acordo com a Tabela 18, Tabela 19 e a Figura 23, percebe-se a forma como os extremos são, na sua grande maioria, gerados pelo perfil *agressivo*. As alternâncias de extremos dos índices, de maneira geral, quando é baixa, representam momentos de crise, por exemplo, o problema enfrentado pela VALE5 com o recente problema de rompimento de suas barragens em Mariana e Brumadinho. Por outro lado, quando a curva sobe, é um sinal de que aquele ativo ou economia vai bem. Isso acontece porquê a bolsa de valores costuma refletir a expectativa do mercado em relação à economia.

Em momentos de crise, quando o agente investidor acredita que o ambiente econômico vai piorar, ele se torna mais conservador e procura investimentos que considera menos arriscado. Como os ativos são vistos como investimento de maior risco, eles colocam seus ativos à venda. Com mais

oferta, o preço dos papéis cai e puxa os indicadores para baixo. O mesmo vale quando a expectativa é de que a economia vai melhorar. O agente cliente se torna moderado ou agressivo e passa a procurar investimentos que acredita ser mais lucrativo, já que a preocupação com o risco do cenário é menor. Por exemplo, a mudança de um governo pode despertar a crença de um ano promissor e os ativos podem atingir índices históricos.

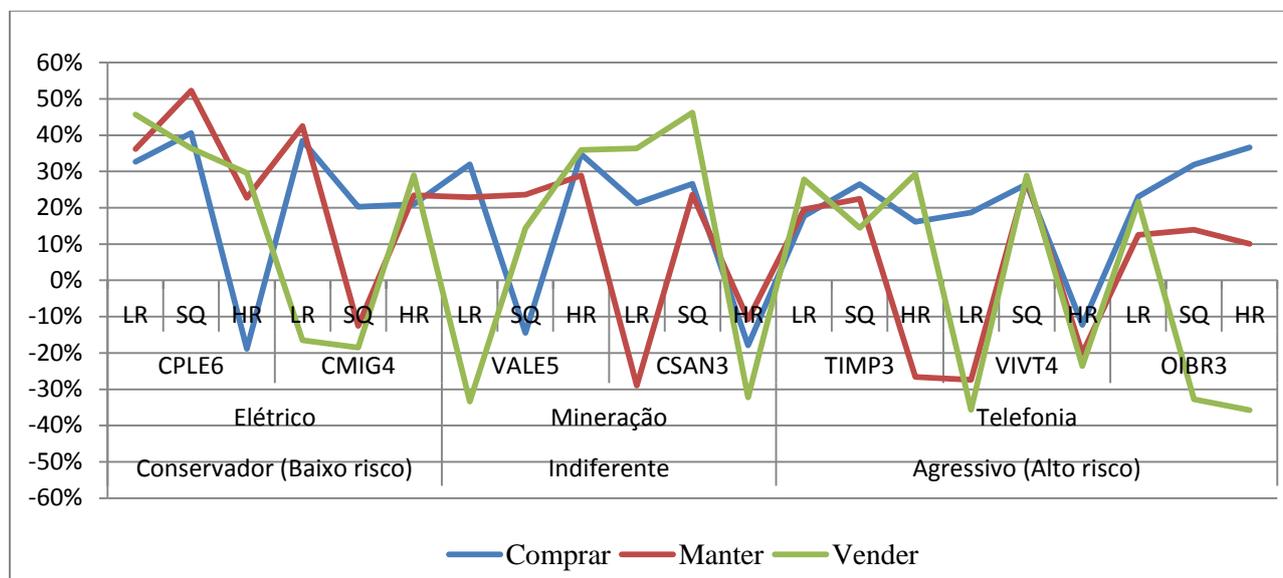


Figura 23. Desempenho do portfólio de investimento do cliente

Fonte: Dados da Pesquisa, (2018)

Aqui, essas alternâncias e resultados ficaram evidenciados por meio dos mecanismos de controle de risco empregados pela parte cliente, bem como o grau de risco com a nota técnica definida pelo recomendador. Deve-se ponderar dizendo que os resultados bons ou ruins da parte – cliente e provedor – tem sua parcela de contribuição. A parte cliente não opera como simples executor de recomendações, ela também implementa mecanismos que coloca em prática competências para avaliação de reputação e risco. A parte cliente é também especializada.

#### 6.4 Comparativo entre os Modelos R1 e R2

Inicialmente, os modelos R1 e R2 utilizam a mesma estrutura preferencial por meio da paridade de matrizes. Como tais modelos apresentam algumas similaridades a intenção aqui é destacar as características que os distinguem-se (cf. Tabela 20).

Tabela20. Comparação entre os modelos R1 e R2

CARACTERÍSTICAS	EQUAÇÕES	MODELOS	
		R1	R2
Dossiê – <i>feedback</i> (Confiança e reputação)	E1 e E2	✓	✓
Cálculo de preferências usando AHP.	E3, E4 e E5, E6	✓	✓
Definição de limites inferior e superior dos critérios – cliente.	E8	✓	
Cálculo da utilidade do valor ofertado	E9	✓	
Cálculo de utilidade da proposta com base em E9	E10	✓	
Cálculo de utilidade mínima e máxima média na interação corrente. Fornece o ponto de referência para a avaliação da interação com o agente provedor.	E11 e E12	✓	
Cálculo da utilidade média da proposta com base em E11 e E12.	E13	✓	
Definição do fator de risco	E14, E15	✓	
Cálculo do valor normalizado de risco	E16	✓	
Cálculo da nota de desempenho	E17	✓	
	E33		✓
Cálculo do grau de risco	E18	✓	
	E34		✓
Recomendação do provedor	E20 e E21	✓	✓
Tomada de decisão do contratante	E19, E20 e E26	✓	
	E33, E34 e E30, E31 ou E32		✓
Cálculo das preferências	E22, E23, E24 e E25	✓	✓
Cálculo do grau de confiança com base no IFR	E26		✓
Cálculo da nota técnica—estratégia de negociação	E27, E28 e E29		✓
Cálculo da preferência média	E30, E31 e E32		✓

O emprego do modelo R1 é recomendado para situações que envolvem preferências e juízo de valores em processo de negociação, tal como: serviço. O modelo permite que um agente cliente de um determinado serviço possa confrontar suas preferências – com base em valores de referência – as ofertas de agentes provedores. Destaca-se aqui o fator de ajuste de risco auxilia a tomada de decisão, na medida em que ele define se a operação significa um benefício ou um risco para a parte cliente.

Por outro lado, o modelo R2 utiliza uma estrutura em níveis hierárquicos. Define um conjunto de preferências e classifica os critérios por grau de importância para um dado cenário. Tal

estrutura é construída e mantida pela parte cliente Ela também permite a parte cliente derivar – com embasamento matemático e na forma de vetores de pesos – a importância de suas preferências para a tomada de decisão. A sua aplicabilidade vai à direção de problemas não tratáveis pelos procedimentos intuitivo-empíricos usuais.

Ambos os modelos – R1 e R2 – utilizam recomendações emitidas por agentes especializados como uma forma geral de auxílio ao processo de tomada de decisão. Este instrumento de recomendação é importante porquê é também um mecanismo que avalia em certa proporção, por exemplo, uma operação de investimento. No caso usado para ilustrar a aplicação dos modelos, a parte especializada em investimento – agente provedor de recomendação – dispõe de diversos índices para indicar ao agente investidor. Aqui, optou-se pelo índice *IFR*. Este índice é utilizado pelo agente investidor como grau de confiança e possibilita ele obter a nota técnica e média de preferência. Neste sentido, quanto maior o aparato de índices ou ferramentas que auxiliam os agentes em um processo de negociação, maior é a confiança de realização de uma operação bem-sucedida. Outro ponto positivo em R1 e R2 é que as suas estruturas permitem que outros índices ou ferramentas possam ser integrados.

Uma questão importante que determina a eficiência de R1 e R2 é a consistência matricial, do que eles são dependentes. Em outras palavras, é fundamental que as matrizes que compõem preferências da parte cliente sejam consistentes. Sendo assim, na Seção 6.5 são realizados os experimentos e os resultados com objetivo de otimizar matrizes preferências inconsistentes para torna-las consistentes e ótimas. A matriz ótima é uma matriz modificada mais próxima da matriz original – definida inicialmente pela parte cliente; obviamente, ela deve ser a mais próxima e consistente, com  $RC < 10\%$ . A sistematização da modificação de cada matriz é feita usando a abordagem evolucionista, algoritmo genético.

## **6.5 Experimentos e Resultados com Otimização de Matriz de Preferências**

É importante lembrar que uma matriz de preferências é dita consistente quando o resultado do cálculo da Razão de Coerência é inferior a 10%. Todavia, quando essa condição não é verificada, é possível tomar dois caminhos. O primeiro seria mudar as preferências manualmente quantas vezes forem necessárias até se chegar a uma configuração matricial consistente; obviamente, essa iniciativa não é nada prática. O segundo seria também mudar tais preferências quantas vezes foram necessárias até se chegar a uma configuração matricial consistente, mas a sistematização para buscar tal matriz consistente seria feita por uma abordagem de busca algorítmica e operacional.

Como dito anteriormente (Seção 5.2), a abordagem usada para operacionalizar a busca de matriz consistente e ótima foi feita usando um algoritmo genético. Para flexibilizar e auxiliar no processo de análise e convergência do resultado – matriz de preferências consistente e ótima –, o

sistema GA-AHPR mantém fixos os valores de alguns parâmetros base e faz variar outros parâmetros que influenciam diretamente no espaço de busca do algoritmo genético. Estes ajustes são necessários porque a variação dos elementos impacta na eficiência da busca da solução do problema.

Optou-se por dois testes – ou objetivos – para avaliar a eficiência dos parâmetros genéticos do modelo R2: (i) a partir de matrizes de ordem diferente com Razão de Coerência  $> 10\%$ , encontrar matrizes – usando algoritmo genético – com  $RC < 10\%$ ; e (ii) decidir qual matriz sugerida pelo algoritmo genético, a partir de um espaço de busca, melhor representa a matriz original.

#### Etapa 01: geração de espaço de busca

i. Inicialmente foram geradas várias matrizes aleatórias com diagonal unitárias e com diferentes ordens. Deve-se salientar que, tanto os operadores como os parâmetros genéticos foram previamente definidos e, dependendo da ordem da matriz os parâmetros, foram ajustados. Em cada um dos operadores genéticos foi empregado estratégias de seleção diferenciada. No experimento (cf. Tabela 20), optou-se por: a) Seleção: estratégia Roleta; b) Cruzamento: estratégia Ponto Único e; c) Mutação: estratégia *Exchange Mutation* – de forma aleatória seleciona-se dois pontos e troca suas posições. Entre os parâmetros genéticos utilizou-se para taxa de cruzamento: 0.10 e taxa de mutação 0.10.

Opcionalmente, alguns operadores variaram para auxiliar na solução do problema, tais como: tamanho da população, quantidade mínima de indivíduos aptos para caracterizar uma solução, magnitude de variação em torno do valor de um elemento da matriz e o número de gerações juntamente com a população definiram o espaço de busca da solução. Na Tabela 20, consta as características das matrizes dadas pelo projetista/especialista com várias ordens de grandeza e  $RC > 10\%$ . Essas matrizes foram submetidas ao algoritmo genético para otimizar e gerar matrizes com  $RC < 10\%$ . O processo de otimização deve gerar matrizes com  $RC < 10\%$ .

Na matriz 1 (cf. Tabela 21), se comparar o número de descendentes dela com as demais matrizes, foi alta. Na matriz 2, o valor de variação 1 e a RC alto contribuiu para que o número de descendentes fosse relativamente baixo, e mesmo aumentando a população para 250 a RC mínima foi superior a RC da matriz 1. Na matriz 3, de ordem 6 foi necessário aumentar a população e o valor da variação para obter um resultado satisfatório, com RC mínimo de 0.43. A matriz de ordem 7 obedeceu ao mesmo padrão da ordem anterior. Porém, a matriz 5, de ordem 8, embora o RC não fosse elevado, para obter um valor da RC satisfatória, foi necessário elevar substancialmente o valor da população para 1.200 e o valor da variação para 5.

Tabela 15. Características das matrizes

Operadores Genéticos:				Seleção: Roleta Cruzamento: Ponto Único		Mutação: <i>Exchange Mutation</i> (EM)	
Parâmetros Genéticos:				Taxa de cruzamento: 0.10		Taxa de muta�o: 0.10	
				Número de gera�es: 40			
Matriz	Ordem	RC-AHP	Popula�o	RC mínimo	RC maior	Descendentes	Varia�o
1	4	21.32	150	0.33	9.92	23	1
2	5	23.71	250	6.71	9.63	4	1
3	6	16.10	400	0.43	9.35	6	2
4	7	18.74	400	2.81	9.97	3	2
5	8	20.71	1200	5.01	9.73	2	5

Nesse cenário, a ordem de grandeza de cada matriz e o valor da varia o, influenciaram na gera o da quantidade de descendentes. Foi necessário aumentar o tamanho da popula o e o valor de varia o para permitir encontrar descendentes. É importante ressaltar que a altera o dos valores de outros parâmetros também pode ser utilizada para auxiliar na soluço do problema em questão. Pode ser utilizado, por exemplo, o operador de sele o por dizima o, o cruzamento pode ser feito por duplo ponto de corte, bem como o ajuste dos valores dos parâmetros genéticos.

Concluindo, esse primeiro teste serviu para identificar matrizes com  $RC < 10\%$  e, de certa forma, resolveu o problema de inconsistência matricial. No espaço de busca poder-se-ia se optar por qualquer uma das matrizes encontradas, mas além dessa questão, é importante saber também qual das matrizes encontradas representa melhor a matriz original. Com base nessa questão, foi gerado um segundo teste para saber qual matriz gerada pelo algoritmo genético, melhor representa a matriz original.

ii. Na segunda condi o o propósito foi encontrar o máximo global (cf. Capítulo 4, Figura 13) ou a soluço aproximada para uma matriz com Razão de Coerência  $> 10\%$  e que melhor representa a matriz original. Para isso, foi utilizado uma matriz descompensada de ordem 4 com RC 21.32%. As condi es de teste avaliaram em 1 *round*, os valores gerados pelo algoritmo genético com base nos operadores e os parâmetros genéticos (cf. Figura 24).

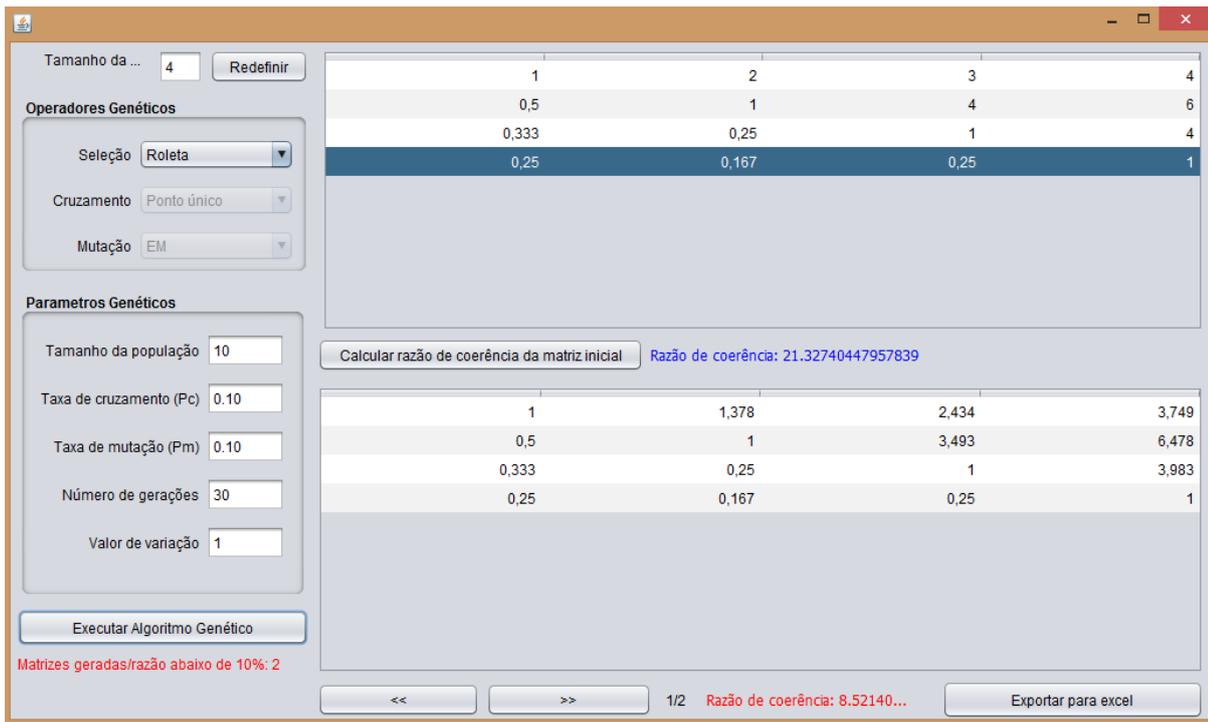


Figura 24 Algoritmo genético: Cálculo do fitness

Fonte: (Dados da Pesquisa, 2018)

Foi estabelecido como variante, em cada simulação, o tamanho da população; embora pudessem ser alterados outros parâmetros (cf. Tabela 22). Porém, como o tamanho da população é um fator que influencia de forma significativa no resultado de busca, optou-se então, por ajustar apenas este parâmetro para avaliar os resultados obtidos. O espaço de busca obedeceu aos mesmos critérios utilizados por Franek e Kresta (2014), em que a ordem da matriz é de no máximo 15 e combina com os valores do  ndice de consistência randômica (Tabela 8, pág. 96). Pretendia-se saber por meio das simulações em que momento no espaço de busca, geraria a melhor solução para o problema. Entre as d vidas, destacaram-se as seguintes perguntas: 1) Alterando-se apenas o tamanho populacional, o algoritmo genético pode encontrar uma solução ótima? A resposta para tal pergunta pode ser encontrada na Tabela 22 e na Figura 25, após executar o processo de otimização AG. O AG começou a gerar matrizes com  $RC < 10\%$  a partir de uma população com quantidade mínima de 10 indivíduos, avaliados em 40 gerações, totalizando 400 indivíduos. Nessa perspectiva pode-se concluir que este parâmetro exerce influência no algoritmo genético e auxilia a encontrar uma solução ótima. Entretanto, a combinação dos valores dos parâmetros genéticos é que vai contribuir para encontrar uma solução ótima. 2) Outra d vida importante é saber entre as matrizes encontradas qual a melhor matriz sugerida pelo algoritmo genético? Ela depende da quantidade de matrizes que o algoritmo genético encontrar. Por exemplo: se ele encontrar apenas uma matriz com *fitness* inferior a

10%, então essa é a matriz selecionada. Caso encontre várias matrizes, a matriz selecionada é aquela com menor *fitness* – RC-menor (cf. Tabela 22).

Tabela 16. Operadores e parâmetros utilizados no Algoritmo Genético

Seleção: Dizimação			Número de gerações: 40			
Cruzamento: Ponto Único: 1.0			Valor da variação: 1		Round: 1	
Mutação: EM = 0.10			Ordem Matriz: 4		RC: 21.32	
Simulação	População	Valor 1º Round	RC-menor	RC-médio	RC-maior	Descendentes
1	10	2.46	2.46	2.46	2.46	1
2	20	1.66	1.66	4.56	7.45	2
3	30	1.34	1.34	5.73	9.89	3
4	50	7.76	0.64	4.95	8.17	4
5	80	7.67	1.98	6.21	8.29	12
6	100	9.76	1.98	5.73	9.76	14
7	125	9.39	1.49	7.12	9.74	13
8	150	8.83	4.31	7.18	9.95	13
9	175	8.00	2.99	6.97	8.82	28
10	200	3.65	0.62	7.50	9.90	19

Fonte: (Dados da pesquisa, 2018)

Com base na configuração inicial, foi possível encontrar matrizes com Razão de Coerência inferior a 10%. Entretanto, os valores encontrados na coluna 1º *round* não se caracterizaram como sendo os melhores valores no espaço de busca da solução (cf. Tabela 21, valor 1º *round*). Conforme foi aumentando o tamanho da população, gerou-se mais descendentes, porém não resultou necessariamente em matrizes melhores – descritas em termos da média *fitness*. Na simulação 9, por exemplo, gerou-se 28 descendentes com uma média de *fitness* de 6.97, enquanto que a simulação 6 gerou-se 14 descendentes com uma média *fitness* melhor de 5.73, assim como as simulações anteriores. Portanto, não se pode afirmar que um maior ou menor tamanho populacional pode influenciar em uma média de *fitness* menor ou maior. Para cada execução encontrou-se soluções diferentes para o mesmo problema, influenciando diretamente na média *fitness*. Quando o mecanismo percorreu o espaço de busca e criou vários descendentes, algumas vezes a matriz com melhor *fitness* (cor azul) estava no meio desse espaço de busca (cf. Tabela 23). Isto se verificou da simulação 4 a 10. Portanto, é importante que o algoritmo genético percorra todo espaço de busca, gere o máximo de matrizes possíveis para poder identificar qual o melhor descendente com menor RC.

Tabela 23. Descendentes e *fitness* das matrizes encontradas pelo Algoritmo Genético

Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Descendente	1	2	3	4	12	14	13	13	28	19
1	2,46	1,66	1,34	7,76	7,67	9,76	9,39	8,83	8,00	3,65
2		7,45	5,95	4,33	7,50	4,87	4,90	7,15	8,03	8,90
3		4,56	9,89	6,39	6,21	3,58	9,66	4,88	6,92	8,00
4			5,73	6,63	5,68	7,61	9,74	4,95	8,82	9,50
5				4,95	3,46	7,65	8,04	5,88	6,66	8,81
6				0,64	1,98	0,90	9,53	4,81	7,34	9,27
7				8,17	7,63	9,05	7,12	9,10	7,20	9,16
8				1,62	8,29	8,05	3,96	9,34	6,22	9,37
9				2,21	8,28	4,53	7,95	7,47	7,97	0,62
10				6,84	4,95	5,73	9,70	8,26	7,30	9,63
11					6,25	4,94	4,79	9,95	7,67	5,22
12					6,30	6,61	8,26	9,02	7,82	9,90
13					6,53	7,05	5,17	4,31	4,31	8,25
14						2,95	1,49	6,81	6,93	7,68
15						2,72			8,04	9,17
16									5,66	4,69
17									4,71	3,46
18									2,99	8,85
19									8,41	8,36
20									5,94	7,50
21									7,28	
22									5,66	
23									8,06	
24									9,06	
25									4,75	
26									8,71	
27									6,89	
28									8,03	

Fonte: (Dados da pesquisa, 2018)

Logo, a melhor matriz gerada pelo algoritmo genético de acordo com os dados da Tabela 22 e 23 e a Figura 25 é a linha com RC-AG menor. Dependendo da definição dos parâmetros o algoritmo genético pode gerar muitos descendentes. Por exemplo, na simulação 9 o algoritmo genético gerou 28 descendentes. Nesse sentido, quanto maior for o número de descendentes gerados pelo algoritmo genético, maior é a possibilidade, embora nem sempre aconteça, de gerar uma matriz com *fitness* próximo à zero.

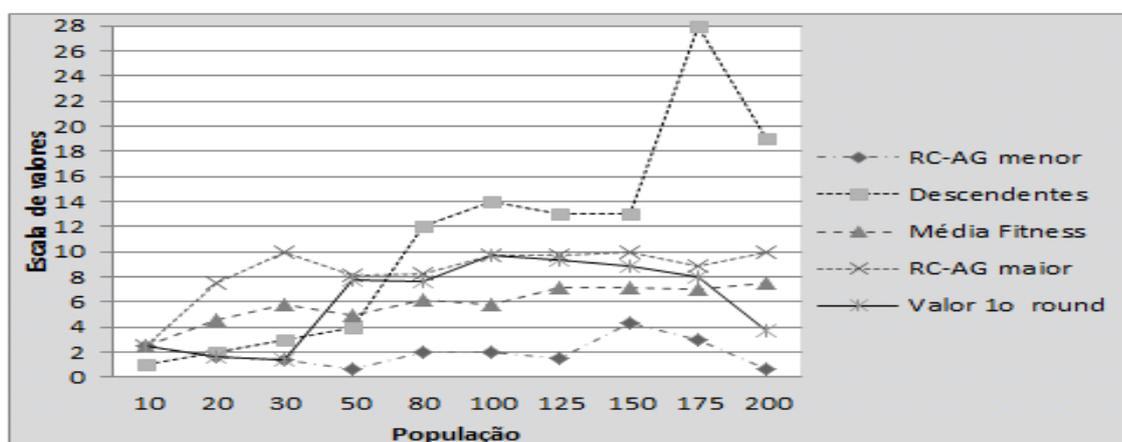


Figura 25. Resultado da execução do Algoritmo Genético

Fonte: (Dados da pesquisa, 2018)

Os testes com o algoritmo genético comprovaram que a matriz original com inconsistência matricial pode ser otimizada ao propor uma nova matriz com Razão de Coerência  $< 10\%$ . Os testes também mostraram a importância da nova matriz para manter o máximo possível as características da matriz inicial. A diversidade dos parâmetros e os operadores genéticos apontaram diferentes possibilidades de calibragem dos parâmetros na busca da solução ótima. Outro aspecto importante foi quanto à utilização do tempo necessário para o algoritmo genético gerar a solução. Neste caso, o tempo foi relativamente pequeno, considerando as dimensões do problema proposto. Com base nestas afirmações, a matriz otimizada pode ser gerada pelo agente cliente no modelo de risco, confiança e reputação.

## 6.6 Considerações Finais

Este capítulo apresentou a metodologia de avaliação dos modelos de risco, confiança e reputação, bem como os experimentos com os resultados do modelo de risco com as estruturas R1 e R2. Foram realizados experimentos com base de dados reais e o resultado gerado no modelo R1 avalia além das preferências, a utilidade dos critérios. Para isso, baseia-se na proposta corrente de um dado agente provedor, na média da nota histórica do mesmo, no fator de ajuste de risco e no valor de ajuste de risco para a contratação de um serviço; Já no modelo R2, apresenta uma estrutura hierárquica genérica e utiliza o método AHP com base em preferências. Para isso, um agente cliente especifica um cenário econômico e define uma estrutura hierárquica de avaliação. Nessa estrutura, o cliente pode especificar tipos de comportamento que reflete seu perfil em dada situação, tais como: conservador, moderado ou agressivo.

A inconsistência matricial, que era um desafio para a automação de ambos foi otimizada usando algoritmo genético. Os parâmetros e os operadores do algoritmo genético permitem ser ajustados pelo sistema, estabelecendo um processo dinâmico. De uma forma geral os modelos R1 e R2 apoiam a tomada de decisão de um agente cliente, face de atribuição de um contrato a um agente provedor de serviço que se dá em um ambiente aberto e incerto, sobretudo nas simulações mais complexas que envolvem agentes com diversos tipos de comportamentos. A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o modelo de risco, confiança e reputação com o algoritmo genético AG-AHPR é uma alternativa eficiente para problemas que envolvem risco e confiança em operações financeiras em ambientes virtuais abertos, próprios dos sistemas multiagentes.

## CAPÍTULO 7

# CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi apresentado um modelo de tomada de decisão com base em sistemas multiagentes e permitiu usar as dimensões de risco, confiança e reputação para atuar de forma mais segura em ambiente aberto. De acordo com estudos das áreas da Administração, Financeira, Economia e Ciência da Computação, tais dimensões são de suma importância para a tomada de decisão e interação com outros indivíduos (EPSTEIN, 2018). O modelo pode utilizar a estrutura de risco R1 ou R2 juntamente com confiança e reputação. A estrutura de risco R1 privilegiou além das preferências, os valores dos critérios e o fator de ajuste de risco. A estrutura R2 baseia-se no julgamento e avaliação das preferências.

O modelo permitiu avaliar uma proposta de serviço utilizando duas fontes de informação complementares: risco, confiança e reputação Dossiê. Este último operacionalizou informações vinculadas à reputação de um provedor de serviços e estendeu o modelo de reputação certificada àquele agente avaliado, pois pode armazenar a referência de suas testemunhas e as avaliações recebidas por eles.

O modelo adveio da abordagem AHP e operacionalizou informações ligadas ao risco de um provedor de serviço. Tal inspiração permitiu modelar a situação de incerteza e risco, já que permite derivar escalas de valores em medidas que normalmente não existem. Ao permitir probabilidades subjetivas de pessoas experientes, possibilitou mudar a estrutura de tomada de decisão de uma situação de incerteza pura para um risco mensurável.

Outro aspecto importante no modelo foi a utilização do algoritmo genético. A sua aplicação no caso de matrizes decisórias permitiu detectar a inconsistência matricial do método AHP, possibilitando o fornecimento de soluções alternativas ao agente cliente. O contexto permitiu definir e experimentar três diferentes perfis: conservador, moderado e agressivo e apontaram bons resultados ao modelo de risco, confiança e reputação. Em especial, o perfil conservador.

Outro aspecto importante na contratação de serviço refere-se à definição dos termos, pois reduz surpresas indesejáveis, cria novas oportunidades de negócios e, como consequência, o aumento

de economia e eficiência entre os agentes envolvidos no processo. Embora os processos para a tomada de decisão estivessem inseridos em uma estrutura estática, a flexibilidade do modelo de risco, confiança e reputação permitiu utilizar um conjunto de elementos dinâmicos.

Um dos grandes paradigmas em destaque hoje é a inserção do comportamento humano por meio de preferências em transações financeiras. Ao especificar a intenção da preferência, os agentes por meio de modelos apropriados, conseguem mensurar o risco que esse tipo de comportamento representa em um determinado cenário.

Apesar do modelo de risco, confiança e reputação ser avaliado sob a perspectiva de um sistema multiagente é interessante destacar a importância dessa abordagem para outros sistemas com propriedades semelhantes, que utilizem dados distribuídos e não necessite de controle central. A complexidade do meio em que as organizações se encontram na atualidade exige relações cada vez mais confiáveis para que integrantes de comunidades possam interagir. Sendo assim, este modelo pode contribuir – na busca de indivíduos – por plataformas tecnológicas que utilizem mecanismos de menor risco e maior confiabilidade para compartilhar informações. Na perspectiva do crescente aumento de novos mecanismos em ambiente descentralizado, os experimentos realizados permitem concluir, que o modelo proposto pode contribuir com comunidades virtuais na seleção de bons parceiros para a prestação de serviços. Neste cenário, o modelo procurou auxiliar o contratante de um serviço quanto ao risco que estava sujeito ao definir determinadas preferências, bem como expor o risco das relações entre agentes em um sistema aberto.

Apesar de o método proposto ter se mostrado útil para a área de risco, confiança e reputação, é importante salientar algumas limitações do modelo. Uma delas é a necessidade de quantificar numericamente determinados tipos de critérios, o que pode ser um problema, como é o caso do critério qualidade. Os elementos qualificáveis geralmente ligados a critérios não quantificáveis podem exigir outra forma de classificação. No caso do modelo proposto, essa limitação não se aplica, uma vez que, no mercado financeiro os critérios são quantificáveis.

## 7.1 Contribuições

A principal contribuição tecnológica e científica está na proposta de um modelo de tomada de decisão multicritério que considera risco, confiança e reputação. De acordo com as hipóteses, Inicialmente foi criado um modelo multicritério R1 e R2 que estimam a utilidade e calcula por meio do AHP o “risco” e possibilita uma tomada de decisão consiste. A proposta permite – se assim desejar – mudar em tempo real os valores e/ou as preferências, assim como conciliar de forma natural a complexidade da distribuição do controle e dos dados. A seguir, o modelo de risco é integrado ao modelo de confiança e reputação por *Dossiê*. O modelo de risco com as estruturas R1 e R2 avaliaram cenários em que os dados se encontram logicamente e fisicamente distribuídos e

demonstraram ser escalável. Para minimizar o problema de inconsistência matricial do método AHP, foi definido um modelo de otimização com base em computação evolucionária —algoritmo genético, que obteve a consistência matricial para os modelos R1 e R2.

Como contribuição econômica, as estruturas R1 e R2 do modelo possibilitam estruturar o problema e identificar critérios que podem influenciar no resultado de um investimento ou operação financeira. Nesse sentido, os agentes avaliam suas decisões com base nas comparações par-a-par. Além disso, o método utilizado contribui para reduzir os níveis de incerteza no processo decisório, devido à quantidade e qualidade das informações afins.

Como relevância social destaca-se a possibilidade de criar infinitas relações entre clientes e provedores. A estrutura de tomada de decisão descentralizada que utiliza o modelo de risco com as estruturas R1 e R2 reforça esse tipo de comportamento dos agentes envolvidos no processo.

Pode-se apontar ainda a relevância para a própria área da pesquisa, conforme mencionado por Lu et al. (2009), Granatyr et. al. (2015) e Braga et al., (2018) em que constatou-se a pouca quantidade de modelos que exploram medidas de risco na literatura da área, de forma mais específica 8%. Com base neste cenário, este modelo contribui para reduzir a carência de abordagens que enfatizam o risco apontado nas principais revisões, pois implica na falta de ferramentas e mecanismos adequados que possam auxiliar nos múltiplos aspectos de modelos na tomada de decisão.

## 7.2 Trabalhos Futuros

O modelo proposto possibilita a continuidade em estudos futuros e melhorias, sendo assim, sugere-se aprofundar os experimentos realizados em ambientes complexos. O desafio consiste em explorar outras fontes de informações, tais como; *paradigma cognitivo, sociológicas, preconceito*. Outras dimensões abordadas na literatura também são desafiadores, porquê de uma forma geral, tais dimensões tem sido exploradas por modelos de confiança, porém muito pouco em risco. A partir do modelo desenvolvido que explorou por meio dos *feedbacks, experiências diretas e indiretas*, é possível incrementar outros mecanismos, para determinar outros tipos de riscos na área financeira, tais como: risco de fraude (interna e externa), risco operacional, entre outros.

Outro aspecto importante diz respeito a como selecionar e atribuir um determinado peso aos critérios na composição de um conjunto de preferências em um cenário específico. Embora a análise de sensibilidade se proponha a analisar essa questão, o assunto é complexo. Esse último requer maiores estudos para criar outros mecanismos que auxiliem o cliente a avaliar o grau de importância e o peso dos critérios com um método mais apurado antes de operacionalizar tais critérios no modelo de risco.

Neste trabalho, nos experimentos com ativos, os agentes trabalharam com o índice *IFR*, mas há outros índices que podem ser utilizados no modelo para atividades específicas, tais como: índice que mede as organizações mais representativas e maiores liquidez em um determinado setor (*ICON*); índice que mede o comportamento das empresas que se destacaram em termos de remuneração aos investidores, sob a forma de dividendos e juros sobre o capital próprio (*IDIV*), entre outros. Estes índices podem ser utilizados como recomendação por agentes especialistas em determinados tipos de mercados.

Embora o modelo de risco tenha sido utilizado com o modelo de confiança e reputação Dossiê para a tomada de decisão com base na compra e venda de ativos, o mesmo pode ser utilizado com outras estruturas e mecanismos. O modelo pode ser utilizado em outros contextos, como: *e-commerce*, cooperativas, indústria, transações financeiras (*Bitcoin*), entre outras. As estruturas propostas são dinâmicas e assim podem acomodar novas pesquisas para avaliar o risco e a confiança, em contextos próximos das suas realidades.

### 7.3 Publicações

Parte do trabalho apresentado tem sido alvo de outras pesquisas realizadas pelo grupo de *Agentes de Software* do Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGIA) que produziu as seguintes publicações:

- GRANATYR, Jones; LESSING, Otto Robert; SILVA, Vanderson Botelho; SCALABRIN, Edson Emilio; BARTHÈS, Jean-Paul André; ENEMBECK, Fabrício. *Trust and Reputation Models for Multiagent Systems*. ACM Computing Surveys (CSUR), Vol. 48, n. 2, p. 27, 2015.
- GRANATYR, J.; OSMAN, N.; DIAS, J.; NUNES, M.A.S.N.; MASTHOFF, J.; ENEMBRECK, F.; LESSING, Otto Robert.; SIERRA, C.; PAIVA, A.M.; SCALABRIN, E.E. *The need of Affective Trust to Trust and Reputation Models*. ACM Computer Surveys, Vol. 50, n. 4, Article 48. 2017.
- LESSING, O.R; KREDENS, K.V; GRANATYR, J.; BOTELHO, V., ÁVILA, Bráulio C.; SCALABRIN, E. E. *Service Contracting Using Trust and Risks Models*. Proceedings of the 2018 IEEE 22nd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design.
- LESSING, O. R. GRANATYR, J. FRANCISCON, E. ÁVILA C.B. SCALABRIN, E.E. *Decision-Making: From Pure Uncertainty to Measure Risk*. CSCWD 2019 (2019 IEEE 23rd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design). 2019.

# REFERÊNCIAS

- ABDUL-RAHMAN, Alfarez; HAILES, Stephen. Supporting trust in virtual communities. In: System Sciences. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on. IEEE, 2000. p. 9 pp. vol. 1.2000.
- ABOULWAFI S., BAHGAT R. 2012. DiReCT: Dirichlet-based Reputation and Credential Trust Management. Faculty of Computers and Information-Cairo University 5 Dr. Ahmed Zoweil st., Dokki, Giza 12613, Egypt. 2012.
- ADAMOPOULOU, A. A. e SYMEONIDIS, L. A.. A simulation testbed for analyzing trust and reputation mechanisms in unreliable online markets, *Electronic Commerce Research and Applications*, v.13 n.5, p.368-386, 2014.
- AGARWAL, A., e SHANKAR. R. Analyzing Alternatives for Improvement in Supply Chain Performance. *Work Study* 51: 32–37. 2002.
- AHMAD Abdel-Hafez, XIAOYU Tang, NAN Tian, and YUE Xu. A reputation-enhanced recommender system. In *Advanced Data Mining and Applications*, Xudong Luo, Jeffrey Xu Yu, and Zhi Li (Eds.). Springer, Cham, 185-198. 2014.
- ALBERTO, A. A.; MARCO A. B.; ANTONIN P. An AHP-Based Decision-Making Tool for the Solution of Multiproduct Batch Plant Design Problem under Imprecise Demand. *Computers and Operations Research*, Vol.36, No.3, pp.711-736, 2009.
- ALY, F. M.; ABD EL-HAMEED, M. H. Integrating AHP and Genetic Algorithm Model Adopted for Personal Selection. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* – Volume 6 Number 5- Dec 2013.
- ALJAZZAF Z. M., PERRY M., CAPRETZ M.A.M. Online Trust: Definition and Principles. Department of Computer Science University of Western Ontario London. Canada.2010.
- AREF, M. M. A multi-agent system for natural language understanding. *IEMC '03 Proceedings. Managing Technologically Driven Organizations: The Human Side of Innovation and Change (IEEE Cat. No.03CH37502)*. IEEE. 2003.
- ARISTÓTELES. *Ética a Nicômaco*. São Paulo: Editora Nova Cultural. 1991. (Coleção os pensadores; v.2).
- ARTZ, D.; GIL, Y.. A survey of trust in computer science and the semantic web. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, v. 5, n. 2, p. 58-71, 2007.
- AVEN, T. Response. *Risk Analysis an international Journal*. An Official publication of the Society for Risk Analysis. Wiley Online Library. 2011.
- BADRI MA, SEDAGHAT, A. Application of Genetic Algorithm and Analytic Hierarchy Process to Generate an Oil Spill Risk Map. Research Institute for Subsea Science & Technology, Isfahan University of Technology, Iran. ISSN: 2378-3184. *Journal of Aquaculture & Marine Biology*. Volume 6 Issue 1. 2017.
- BAKER, M.; WURGLER, J. Behavioral corporate finance: An Updated Survey. *Handbook of the Economics of Finance*. Elseviere B.V.v. 2. Part A, pp. 357-424. <https://doi.org/10.1016/B978-0-44-453594-8.00005-7>. 2013.

- BALAKRISHNAN, Vimala e MAJD, Elham. A Comparative Analysis of Trust Models for Multi-Agent Systems. In: Lecture Notes on Software Engineering, Vol. 1, No. 2, May 2013.
- BANA, COSTA, C. A. e VANSNICK, J. A fundamental criticism to Saaty's use of the eigenvalue procedure to derive priorities. The London School of Economics and Political Science, Londres. 2001.
- BANA E COSTA, C., VANSNICK, J. C. MACHBETH – An Interactive Path Towards the Construction of Cardinal Value Functions. International Transactions in Operational Research, vol. 1, n. 4, p. 489 – 500. 1994.
- BANZHAF, W. The 'molecular' traveling salesman. Biological Cybernetics, v. 64, n. 1, p. 7–14, ISSN 03401200. 1990.
- BARALDI, P. Gerenciamento de Riscos: A gestão de oportunidades, a avaliação de riscos e a criação de controles internos nas decisões empresariais. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- BALTAR, M. A. e CORDEIRO, M. O. Análise de Sensibilidade Em Hierarquização De Projetos: O Caso Do ELECTRE III. Simpósio Internacional sobre gestão de recursos hídricos. 1998.
- BARBER, B. M.; ODEAN, T. Individual Investors. In: THALER, R. (Org.). Advances in behavioral finance. New York: Russell Sage Foundation. v. 2, p. 543-569. 2005.
- BEDI, Punam; KAUR, Harmeet; MARWAHA, Sudeep. Trust Based Recommender System for Semantic Web. In: IJCAI. 2007. p. 2677-2682. 2007.
- BELTON, V. e STEWART, T. J. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts. 2002.
- BENTHAM, Jeremy. Introduction to the Principles of Morals and Legislation. Primeira edição impressa em 1780 e publicada em 1789. Londres. 1789.
- BERNOULLI, Daniel. Specimen theoriae novae de mensura sortis. Commentari Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae 5, 175-192. Versão traduzida: Expositions of a new theory on the measurement of risk. Econometrica, 22, 1954, 23-36, (1954).
- BERNSTEIN, Peter L. Against the gods. The remarkable story of risk. John Wiley & Sons, Inc. 1998.
- BHANDARI, G.; DEAVES, R. The demographics of overconfidence. The Journal of Behavioral Finance, Philadelphia, v. 7, n. 1, p. 5-11, 2006.
- BHAGWAT, R., e SHARMA. M. K. An Application of the Integrated AHP-PGP Model for Performance Measurement of Supply Chain Management. Production Planning & Control 20: 678–690. 2013.
- BLAZE M., FEIGENBAUM J., IOANNIDIS J., KEROMYTIS A.D. 1999. The Role of Trust Management in Distributed System Security. AT&T Labs- Research 180 Park Avenue Florham Park, NJ 07932 USA. Distributed systems Lab CIS Department, University of Pennsylvania 200S. 33rd Str., Philadelphia, PA 19104 USA. 1999.
- BOND, Alan H.; GASSER, Les (Ed.). Readings in distributed artificial intelligence. Morgan Kaufmann, Publishers: San Mateo, CA, 1988.
- BORITZ, J. E. Pairwise Comparison - The Analytic Hierarchy Process. University of Waterloo, Waterloo. Disponível em: <<http://www.jebcl.com/riskdo/riskdo3.htm>>. Acesso em: 07/02/2018. 1992.
- BORGES, André Pinz; BOTELHO, Vanderson; DORDAL, Osmar Betazzi; ÁVALIA, Bráulio Coelho e SCALABRIN, Edson Emílio. Safety in Multi-Agent Systems: Reputation based on Dossier. In: 28th International FLAIRS Conference. May 18-20. Hollywood. Florida. USA. 2015.

- BOTELHO, Vanderson; ENEMBRECK, Fabrício; ÁVILA, Bráulio C; AZEVEDO, Hilton; SCALABRIN, Edson. Encrypted certified trust in multi-agent system. In: Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD 2009. 13th International Conference on. IEEE, 2009. p. 227-232. 2009.
- BOTELHO, Vanderson; ENEMBRECK, Fabrício; ÁVILA, Bráulio; DE AZEVEDO, Hilton; SCALABRIN, Edson. Using asymmetric keys in a certified trust model for multiagent systems. Expert systems with applications, v. 38, n. 2, p. 1233-1240, 2011.
- BOTELHO, Vanderson. Dossiê: Modelo de Confiança para Sistemas Multiagentes. Tese de doutorado. PUC-PR. Curitiba. 2017
- BOTSMAN, R.; ROGERS, R. e SARDENBERG, R. L. O Que É Meu É Seu: Como o Consumo Colaborativo Vai Mudar o Nosso Mundo. Editora Bookman. 2009.
- BRADSHAW, J. M. An Introduction to software Agents. In: Bradshaw, J. M. (Ed.). Software Agents. Massachussetts: MIT Press 1997.
- BRAGA, S.D; NIEMAN, M; HELLINGRATH, B.e NETO, L.B.F. Survey on Computational Trust and Reputation Models. Journal ACM Computing Surveys (CSUR). Volume 51 Issue 5, December 2018.
- BRATMAN, M. E. Intention, Plans, and Practical Reason. CSLI Publications. ISBN 1-57586-192-5, 1999.
- BROMLEY, D. B. Reputation, Image and Impression Management. John Wiley & Sons, 1993.
- BURNETT C., NORMAN T.J., SYCARA K. Trust Decision-Making in Multi-agent Systems. Department of Computing Science University of Aberdeen Scotland, UK. Robotics Institute Carnegie Mellon University Pittsburgh, PA USA. 2011.
- BURNETT, Chris; NORMAN, Timothy J.; SYCARA, Katia. Stereotypical trust and bias in dynamic multiagent systems. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST), v. 4, n. 2, p. 26, 2013.
- BUSKENS, V. The Social Structure of Trust. Social Networks (20), 265—298, 1998.
- CALVARESI, D.; DUBOVITSKAYA, A.; CALBIMONTE, P. J.; TAVETER, K.; Schumacher, M. Multi-Agent Systems and Blockchain: Results from a Systematic Literature Review. International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems. PAAMS 2018: Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Complexity: The PAAMS. 2018a
- CALVARESI, D.; DUBOVITSKAYA, A.; MATTIOLI, V. DRAGONI, F. A. Reputation Management in Multi-Agent Systems using Permissioned Blockchain Technology. Conference: Web Intelligence, At Santiago, Chile. 10.1109/WI.2018.000-5.December. 2018b.
- CARVALHO, A.C.P.L.F.; BRAGA, A. P. LUDERMIR, T. B. Computação Evolutiva, In Resende, S. O. (coord), Sistemas Inteligentes – Fundamentos e Aplicações, 1ª. Edição, capítulo 9, São Paulo, Brasil, Ed. Manole, 2003.
- CASTALDO, S. Trust variety. Conceptual nature, dimensions and typologies. Paper presented at the IMP Conference Lugano, Switzerland. 2003.
- CASTELFRANCHI Cristiano, FALCONE Rino. Social Trust: A Cognitive Approach. National Research Council - Institute of Psychology. Unit of AI, Cognitive Modelling and Interaction. Roma – Italy, 2001.

- CASTELFRANCHI, Cristiano; FALCONE, Rino. Principles of trust for MAS: Cognitive anatomy, social importance, and quantification. In: Multi Agent Systems, 1998. Proceedings. International Conference on. IEEE, 1998. p. 72-79. 1998.
- CASTELFRANCHI, C., FALCONE, R., and PIUNTI, M. Agents with anticipatory behaviors: To be cautious in a risk environment. In Proc. Of European Conf. on artificial Intelligence, Trento, Italy, 2006.
- CHAN, F. T. S.; KUMAR, N. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega*, v. 35, p. 417-431. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2005.08.004>. 2007.
- CHANG, L.; OUZROUT, Y.; NONGAILLARD, A.; BOURAS, A.; and JILIU, Z. Multi-criteria decision making based on trust and reputation in supply chain. *Int. J. Prod. Econ.* 147 (Jan. 2014), 362--372. 2014.
- CHARNIAK, Eugene. Bayesian networks without tears. *AI magazine*, v. 12, n. 4, p. 50, 1991.
- CHATTERJEE, D. e MUKHERJEE, B. Study of Fuzzy-Ahp Model to Search the Criterion in the Evaluation of the Best Technical Institutions: A Case Study. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2010.
- CHWOLKA, A.; RAITH, M. G. Supporting group decisions with the AHP: harmonization vs. aggregation of preferences. In: *Decision theory and optimization in theory and practice*. Org. por WANKA, G. Shaker, Aachen, pp. 17 - 32. 1999.
- CHEN, S. P., and WU, W. Y. A Systematic Procedure to Evaluate an Automobile Manufacturer-distributor Partnership. *European Journal of Operational Research* 205: 687–698. 2010.
- CLEMEN, R.T. *Making Hard Decisions: an introduction to decision analysis*. Duxbury, 1995.
- CONTE, R. & SICHMAN, J. S. DEPNET: How to benefit from social dependence. *Journal Mathematical Sociology*, 20(2-3), 161-177. 1995.
- CONTE, R. e PAOLUCCI, M. *Reputation in artificial societies: social beliefs for social order*, 6. Springer. 2002.
- CORRITORE, C. L., KRACHER, B., and WIEDENBECK, S. On-line trust: concepts, evolving themes, a model. *Int. J. Hum.Comput. Stud.*, vol. 58, no. 6, pp. 737–758, 2003.
- COSTA, S. J. F., WANDERLEY, A.J.M., COSENZA, C.A.N. Utilização de algoritmos Genéticos em Metodologia Multicritério: Uma Solução para a Inconsistência Matricial. *Revista Gestão Empresarial*. V. 01. N. 04. Pp. 101-109. ISSN: 1808-0448, DOI: 10.3895 /SI808-04482005000400011. 2005.
- COSTA, Serra J. F. A Genetic Algorithm to Obtain Consistency in Analytic Hierarchy Process. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*. Volume 8, Number 1, pp. 55-64. 2011.
- CZINER, K.; HURME, M. Process evaluation and synthesis by analytic hierarchy process combined with genetic optimization. *Computer Aided Chemical Engineering*. DOI: 10.1016/S1570-7946(03)80401-7. 2003.
- DAIGNAULT M., SHEPHERD M., MARCHE S. and WATTERS C. Enabling Trust Online. *Fac. Computer Sci. Dalhousie Univ. Halifax, Canada. Proceedings of the 3rd International Symposium on Electronic Commerce*. 2002.
- DAMODARAN, A. *Gestão estratégica do risco*. Warton School Publishing. Bookman 2009.

- DANIEL, W. Manchala. Trust Metrics, Models and Protocols for Electronic Commerce Transactions. In Proc. of the 18th International Conference on Distributed Computing Systems, pages 312–321. IEEE Computer Society, 1998.
- DAS, A.; ISLAM, M. M. SecuredTrust: a dynamic trust computation model for secured communication in multiagent systems. Dependable and Secure Computing, IEEE Transactions on, v. 9, n. 2, p. 261-274, 2012.
- DAVIS, Randall; SMITH, Reid G. Negotiation as a metaphor for distributed problem solving. Artificial intelligence, v. 20, n. 1, p. 63-109, 1983.
- DE ALMEIDA, Adiel T., CAVALCANTE, Cristiano A., ALENCAR, Marcelo H., FERREIRA, Rodrigo, J.P., ALMEIDA-FILHO, A. T., GARCEZ, Vitelli T. Book Title: Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis. Springer International Publishing Switzerland. Series Volum 231. p. 395. (2015).
- DELLAROCAS, C. The digitization of word of mouth: Promise and challenges of online feedback mechanisms. Management science, v. 49, n. 10, p. 1407-1424, 2003.
- DERBAS, G. et al. Trummar-a trust model for mobile agent systems based on reputation. In: Pervasive Services, 2004. ICPS 2004. IEEE/ACS International Conference on. IEEE, 2004. p. 113-120. 2004.
- DEUTSCH, M. The resolution of conflict. New Haven: Yale University Press. 1973.
- DODGSON, J.; SPACKMAN, M.; PEARMAN, A.; PHILLIPS, L. DTLR multi-criteria analysis manual. DTLR – Department for Transport, Local Government and the Regions, Reino Unido. Disponível em: <[http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm\\_about/documents/pdf/odpm\\_about\\_pdf\\_608524.pdf](http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm_about/documents/pdf/odpm_about_pdf_608524.pdf)>. Acesso em: 29/03/2017. 2001.
- DONG-HUYNHA, T.; JENNINGS, N.; SHADBOLT, N. FIRE: An integrated trust and reputation model for open multi-agent systems. In: ECAI 2004: 16th European Conference on Artificial Intelligence, August 22-27, 2004, Valencia, Spain: including Prestigious Applicants [sic] of Intelligent Systems (PAIS 2004): proceedings. p. 18, 2004.
- DUARTE JUNIOR, A. M. Gestão de riscos para fundos de investimento. São Paulo: Prentice Hall Brasil, 2005.
- DUPREEZ M. 2009. Trust and New Technologies: Marketing and Management on the Internet and Mobile Media. University of South Africa. Online Information Review. Vol. 33 Iss: 6, pp. 1208-1209. Emerald Group Publishing Limited. 2009.
- DURFEE, Edmund H.; LESSER, VITOR R.; CORKILL Daniel D. Trends in Cooperative Distributed Problem Solving. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering archive. Volume 1 Issue 1. Page 63-83. 1995.
- DYER, James. S. MAUT: Multiattribute Utility Theory. In: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. edited by Figueira, J.; Greco, S. & Ehrgott, M., Springer, New York, 265-295. 2005.
- EBAY, site de compras on line 2018. Disponível em:< <https://www.ebay.com>>. Acesso em: 30 jun. 2018.
- EDWARDS, W.; MILES, R. F.; VON WINTERFELDT, D. Advances in decision analysis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- ELLSBERG, D. Risk, ambiguity, and the Savage axioms. Quart. J. Econom. 75(4) 643–669. 1961.

- EMROUZNEJAD, A. e MARRA, M. The state of the art development of AHP (1979–2017): a literature review with a social network analysis, *International Journal of Production Research*, 55:22, 6653-6675, DOI: 10.1080/00207543.2017.1334976. 2017.
- EPSTEIN, MJ. Making sustainability work: Best practices in managing and measuring corporate social, environmental and economic impacts. Published by Berrett-Koehler Publishers. 2018.
- ERTEL, W. Introduction to Artificial Intelligence. New York, NY: Springer. 2011.
- ESHELMAN, L. J., CARUANA, R. A., and SHAFFER, J. D. Biases in the crossover landscape. In, *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms (J.D. Schaffer. Ed.)* Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo. California. pp. 10-19. 1989.
- ESPEJO, L.G.A. e GALVÃO R. D. Uma aproximação da fronteira eficiente para um problema de localização hierárquico de máxima cobertura. *Pesqui. Oper.* vol.24 no.2 Rio de Janeiro May/Aug. 2004.
- FALCONE, Rino; CASTELFRANCHI, Cristiano. Social trust: A cognitive approach. In: *Trust and deception in virtual societies*. Springer Netherlands. p. 55-90. 2001.
- FALSINI, D., F. FONDI, and M. M. SCHIRALDI. A Logistics Provider Evaluation and Selection Methodology Based on AHP, DEA. and Linear Programming Integration. *International Journal of Production Research* 50: 4822–4829. 2012.
- FANAEI, S.; MOSELHI, O. e ALKASS, S. Performance Prediction of Construction Projects using Soft Computing Methods. *Canadian Journal of Civil Engineering*, <https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0305>. 2018.
- FANG, H.; ZHANG, J.; ŞENSOY, M.; THALMANN, N. M. SARC: subjectivity alignment for reputation computation. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 3*. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, p. 1365-1366. 2012.
- FANG, Hui; ZHANG, Jie; THALMANN, Nadia Magnenat. A trust model stemmed from the diffusion theory for opinion evaluation. In: *Proceedings of the 2013 international conference on autonomous agents and multi-agent systems*. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. p. 805-812. 2013.
- FAROOQ, U.; NONGAILLARD, A.; OUZROUT, Y. and QADIR, A. M.. 2016a. A feature-based reputation model for product evaluation. *Int.J. Info. Technol. Decis. Mak.* 15, 6, 1521-1553. 2016.
- FERBER, J.; GASSER, L. Intelligence artificielle distribuée. In: *INTERNATIONAL WORKSHOP ON EXPERT SYSTEMS & THEIR APPLICATIONS*, 10. Avignon. Cours n. 9. France: [s.n], 1991.
- FERBER. J. Multi-Agent Systems. An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Addison Wesley, London, 1999.
- FERMA (Federation of European Risk Management Associations). Disponível em 10 de maio de 2018, de <http://www.ferma.eu/about/mission-and-objectives/what-is-ferma>. 2003.
- FININ, T., FRITZON, D., McKAY, & McENTIRE, R. KQML, as an agent communication language. Em e. ACM Press (ed.). *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Information and Knowledge Management*. 1994.
- FIPA, A. C. L. Fipa acl message structure specification. Foundation for Intelligent Physical Agents, <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/SC00061G.html> (30.6. 2004), 2002.

- FISHBURN, Peter C. Expected utility: an anniversary and a new era. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1, 267-283. 1988.
- FININ T., JOSHI A. 2002. Agents, Trust, and Information Access on the Semantic Web. Department of Compute and Electrical Engineering University of Maryland Baltimore County. 2002.
- FOGEL, D. B. An evolutionary approach to the traveling salesman problem. *Biological Cybernetics*, v. 60, p. 139–144. ISSN 0340-1200. 1988.
- FORMAN, E., GASS. I. S. The analytic hierarchy process: An exposition. *Oper. Res.* 49(4) 469–486. 2001.
- FORTINO, Giancarlo; Di Fatta, Giuseppe; LI, Wenfeng; OCHOA, Sergio; CUZZOCREA, Alfredo, Pathan Mukaddim. *Internet and Distributed Computing Systems*. Springer International Publishing Switzerland 2014.
- FRANEK, J., KRESTA, A. Judgment scales and consistency measure in AHP. Enterprise and the Competitive Environment 2014 conference, ECE 2014, 6–7 March 2014, Brno, Czech Republic. *Procedia Economics and Finance* 12 (2014) 164 – 173. 2014.
- FRANKLIN, S. e GRAESSER. A. Is it an agent or just a program? A taxonomy for autonomous agents. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages*. (ATAL-96). Springer-Verlag, 1996.
- FREITAS, V. L., FREITAS, R.B.P.A., VERASZTO, V. E., MARINS, S.A.F., and SILVA, B.M. Decision-Making with Multiple Criteria Using AHP and MAUT: An Industrial Application. *European International Journal of Science and Technology*. Vol. 2 No. 9. 2013.
- GAMBETTA, D. *Can We trust Trust? Trust: Making and Breaking Cooperative Relations*, Basil Blackwell, New York, pp. 213-237, 1988.
- GARUTI, C. Measury compatibility (closeness) in weighted environments. *International Symposium on AHP*. [1 CD]. Viña Del Mar : Fulcrum Ing., 2007. 9. Proceedings. 2008.
- GASS I. S. Model Word: The Great Debate – MAUT Versus AHP. *Interfaces*. Vol. 35 No.(4). pp. 308-312. 2005.
- GEN, M., CHENG, R. *Genetic Algorithms Engineering Optimization*. Wiley, NY, USA. 2000.
- GHARAKHANI D., TAROMIAN S., DADRAS K., and FAKHAR A. Fuzzy AHP and Fuzzy DEMATEL Methods for Supplier Selection Criteria. *International conference on Computer Science and Information Systems*. (ICISIS'2014) Oct 17-18, 2014 Dubai (UAE). 2014.
- GIGERENZER, G. e TODD, P.M., & the ABC Research Group. *Simple Heuristics That Make Us Smart*. New York: Oxford University Press. 1999.
- GILBERT, D., et al. *IBM Intelligent Agent Strategy*, White Paper, IBM Corporation. 1995.
- GINSBERG, M. *Essentials of Artificial Intelligence*. San Francisco: Academic Press/Morgan Kaufmann. 1993.
- GOLDEN, B., WASIL, E. Celebrating 25 years of AHP-based decision making. *Comput. Oper. Res.* 30(10) 1419–1497. 2003.
- GOLDSCHIMIDT, R. R. *Uma Introdução à Inteligência Computacional: Fundamentos, Ferramentas e Aplicações*. 1ª Edição. Instituto Superior de Tecnologia do Rio de Janeiro: IST-Rio, 2010.
- GOMES, L. F. A.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. de. *Tomada de decisão gerencial: o enfoque multicritério*. Rio de Janeiro: Ed. Atlas, v. 1, 2002.
- GOMES, L.F.A.M. e GOMES, C.F.S. *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*. Rio de Janeiro. Ed. Atlas. 5a Edição. 2014.

- GONCALVES, C. O. ; E.M QUEIROZ ; PESSOA, F. L. P. ; LIPORACE, F. S. ; OLIVEIRA, S. G. ; COSTA, A. L. H. . Otimização da Limpeza de Redes de Trocadores de Calor Empregando os Algoritmos Genéticos. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis. Anais XX COBEQ. São Paulo: ABEQ, 2014. p. 1-8. HOLLAND, J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. MIT Press, Boston, 1992.
- GRANATYR, J.; BOTELHO, V.; LESSING, O. R; SCALABRIN, E., E.; BARTHÈS, J. P., ENEMBRECK, F. Trust and Reputation Models for Multi-agent Systems. In: Journal ACM Computing Surveys (CSUR) Surveys Homepage archive. Volume 48 Issue 2, November 2015. Article No. 27.ACM New York, NY, USA. 2015.
- GRANATYR, J.; OSMAN, N.; DIAS, J.; SILVEIRA, A. M. NUNES, N.; MASTHOFF, J.; ENEMBRACK, F.; LESSING, O.R.; SIERRA, C.; PAIVA, A. M.; SCALABRIN, E.E. The Need for Affective Trust Applied to Trust and Reputation Models. Journal ACM Computing Surveys (CSUR) Surveys Homepage archive Volume 50 Issue 4, November 2017 Article No. 48 ACM New York, NY, USA. 2017.
- GRANATYR, Jones. *Modelo Afetivo de Confiança e Reputação Utilizando Personalidade e Emoção*. Tese de doutorado. PUC-PR. Curitiba. 2017.
- GRANDISON, Tyrone; SLOMAN, Morris. A survey of trust in internet applications. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, v. 3, n. 4, p. 2-16, 2000.
- GRIFFITHS, Nathan. Task delegation using experience-based multi-dimensional trust. In: *Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*. ACM. p. 489-496. 2005.
- GRISHCHENKO, V.S. A fuzzy model for context-dependent reputation. *Proceedings of the ISWC 2004 Workshop on Trust, Security, and Reputation on the Semantic Web*, Hiroshima, Japan, 2004.
- GOTHB, F. e L. WARREN. A Case Study Comparison of the Analytic Hierarchy Process and a Fuzzy Decision Methodology. *The Engineering Economist*, vol. 40, n. 3, p. 233-246. 1995.
- GUAN, X.; YIQIANG W.; Liyan T. Machining Scheme Selection of Digital Manufacturing Based on Genetic Algorithm and AHP. *Journal of Intelligent Manufacture*, Vol.20, No.6, pp.661-669, 2009.
- HART, O. & OLMSTROM, B. *Contract Theory*. The Royal Swedish Academy Sciences. Scientific Background on the Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 2016. October/2016.
- HASTIE, R. e DAWES, R. M. *Rational choice in an uncertain world: the psychology of judgment and decision making*. Thousand Oaks, CA: Sage. 2001.
- HE, H, HAIBO, T.; HUI Q.; WEI, F.; XIAOFENG, D. Optimization of Renewable Energy Big Data Transactions Based on Vector Evaluated Genetic Algorithm. *China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*. IEEE. 2018.
- HERMOSO R., BILHARDT H., OSSOWSKI S. Role Evolution in Open Multi-Agent Systems as an Information Source for Trust. *Centre for Intelligent Information Technology University Rey Juan Carlos Madrid, Spain*. 2010.
- HERNÁNDEZ, C. T., MARINS, F. A. S., ROCHA, P. M. & DURÁN, J. A. R. Using AHP and ANP to evaluate the relation between reverse logistics and corporate performance in Brazilian industry. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v.7, n.2, 1-16. 2010.
- HERTZ, David B., THOMAS, Howard. *Practical Risk Analysis: An Approach through Case Histories*. Research Collection Lee Kong Chian School Of Business.1984.

- HERCOCK, R.G. Dynamic Trust Formation in Multi-Agent Systems. BT Group BT Labs, Adastral Park Ipswich, IP53RE, 2007.
- HO, William; XU, Xiaowei; DEY Prasanta K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. In: European Journal of Operational Research. Volume 202, Issue 1, 1 April 2010, Pages 16–24. 2010.
- HOLLAND, J. H. Genetic Algorithms, Scientific American, July, pp 66-72. 1992.
- HOLTON A. G. Perspectives: Defining Risk. Financial Analysts Journal, Vol. 60, No. 6, pp. 19-25, November/December 2004.
- HSU, Chih-Ming. Resolving a portfolio optimization problem with investment timing through using the analytic hierarchy process, support vector regression and a genetic algorithm. International Journal of Computational Intelligence Systems, Vol. 11 - 1016-1029. 2018.
- HUANG, M. e KUO, W. A Hybrid of Neural Networks and Genetic Algorithm on Multiple Quality Improvement for Pre-Oriented Yarn. International Conference on Computer Science and Application Engineering. 2017.
- HUBBARD, D. The Failure of Risk Management: why it's broken and how to fix it. Hoboken: John Wiley & Sons. 2009.
- HUME, D. A Treatise of Human Nature (1737). Oxford: Clarendon Press, 1975.
- HUYNH, Trung Dong; JENNINGS, Nicholas R.; SHADBOLT, Nigel R. Certified reputation: how an agent can trust a stranger. In: Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems. ACM, p. 1217-1224. 2006.
- HUYNH, T. Dong; JENNINGS, Nicholas R.; SHADBOLT, N. Developing an integrated trust and reputation model for open multi-agent systems. 2004.
- HWANG, C. L.; YOON, K. Multiple attribute decision making: Methods and applications. Berlin: Springer-Verlag. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>. 1981.
- ISHIZAKA, A., A. LABIB A. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. Expert Systems with Applications, 38(11): p. 14336-14345. 2011.
- ISHIZAKA, A., PEARMAN, C. and NEMERY, P. AHP Sort: An AHP-based Method for Sorting Problems. International Journal of Production Research 50: 4767–4784. 2012.
- ISO. International Organization for Standardization. ISO 31000:2009. 2015b. Disponível em: <[http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=43170](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=43170)>. Acesso em: 04 jul. 2018.
- ISO. International Organization for Standardization. Risk Management Principles and Guidelines. 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/263609185/download>. Acesso em: 01 ago. 2018.
- JANISZEWSKI, M. Towards an Evaluation Model of Trust and Reputation Management Systems. Intl Journal Of Electronics And Telecommunications, 2017, v. 63, n. 4, pp.411-416. 2017.
- JELENC, D. e TRČEK, D. Qualitative trust model with a configurable method to aggregate ordinal data, Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, v.28 n.5, p.805-835. 2014.
- JENNINGS, Nicholas R.; SYCARA, Katia; WOOLDRIDGE, Michael. A roadmap of agent research and development. Autonomous agents and multi-agent systems, v. 1, n. 1, p. 7-38, 1998.
- JENNINGS, N. R.; WOOLDRIDGE, M. Applications of Intelligent Agents. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1998.

- JONG, K. Adaptive system design: A genetic approach. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics SMC-10(9)*. 1980.
- JOSANG, A. The Right Type of Trust for Distributed Systems. *Proceedings of the 1996 work-shop on new security paradigms*. Lake Arrowhead, USA, 16-19 September 1996, pp. 119-131, 1996.
- JOSANG, A. LO PRESTI, S. Analyzing the Relationship between Risk and Trust. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. *Second International Conference, iTrust*, Oxford, UK, March 29 - April 1, 2004. *Proceedings* pp 135-145. 2004.
- JOSANG, Audun; BEWSELL, Glenn. Guest Editors' Introduction Trust and Trust Management. *Journal of theoretical and applied electronic commerce research*, v. 5, n. 2, p. 1-2, 2010.
- JOSANG, Audun; ISMAIL, Roslan. The beta reputation system. In: *Proceedings of the 15th bled electronic commerce conference*. p. 41-55. 2002.
- JURCA, Radu; FALTINGS, Boi. An incentive compatible reputation mechanism. In: *ECommerce, 2003. CEC 2003. IEEE International Conference on*. IEEE, 2003. p. 285-292. 2003.
- KAHNEMAN, D., A. TVERSKY, A. Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica* 47(2) 263–291. 1979.
- KAHNEMAN, Daniel; TVERSKY, Amos. Prospect theory: an analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47:2, 263-91. (1979). Versão reimpressa: IN: KAHNEMAN, Daniel; TVERSKY, Amos. (eds.) *Choices, values and frames*. Cambridge University Press. 2000.
- KAHNEMAN, Daniel. *Thinking, fast and slow*. Winner of the Nobel Prize in Economics. Macmillan. ISBN 978-1-4299-6935-2. Retrieved 8 April 2012.
- KARLINS, M.; ABELSON, H. *Persuasion How Opinions and Attitudes are Changed*. Springer Publishing Company. Book Condition: Good. . 2nd edition. Bookseller Inventory # V14F-01123. 1970.
- KEENEY, R. L., AND H. RAIFFA. *Decisions with Multiple Objectives*. Wiley, New York. 1976.
- KEENEY, R. L., RAIFFA, H. *Decisions with Multiple Objectives - Preferences and Value Tradeoffs*, Cambridge University Press, Cambridge & New York, Wiley, 569 pages. ISBN: 0-521-44185-4. 1993.
- KEENEY, R. L. 1992. On the foundations of prescriptive decision analysis. W. Edwards, ed. *Utility Theories: Measurements and Applications*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 58–72. 1992.
- KELLER, L. R. Properties of utility theories and related empirical phenomena. W. Edwards, ed. *Utility Theories: Measurements and Applications*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 3–23. 1992.
- KHAQQI, N. K.; SIKORSKI, J.J.; HADINOTO, K.; KRAFT, M. Incorporating seller/buyer reputation-based system in blockchain-enabled emission trading application. Volume 209, 1 January 2018, Pages 8-19. 2018.
- KHALID, J. *Selection Methods for Genetic Algorithms*. International Journal of Emerging Sciences. ResearchGate. 2013.
- KHOSRAVIFAR B., BENTA HAR J. GOMROKCHI M., ALAM R. CRM: An efficient trust and reputation model for agent computing. *Concordia Institute for Information Systems Engineering*, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada. 2012.
- KILINICCI, O., ONAL, A. S. Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company. *Journal Expert Systems with Applications*. 2011.

- KLABI, H.; MELLOULI, S. and Rekik, M. A reputation based electronic government procurement model. *Govern.* Volume 35, Edição 4, p. S43-S53. 2018.
- KLEJNOWSKI, Lukas. An architecture for trust-adaptive agents. In: *Self-Adaptive and Self-Organizing Systems Workshop (SASOW)*, Fourth IEEE International Conference on. IEEE, 2010. p. 178-183. 2010.
- KONRAD, K., BARTHEL, J., FUCHS, G. Trust and Electronic Commerce – More than a Technical Problem. *Proceedings of the 18<sup>th</sup> IEEE Symposium on Reliable Distributed Systems*. October 19-22, Lausanne, Switzerland. 1999.
- KOSTER A., SABATER J. Shorlemmer M. Personalizing Communication about Trust. *Artificial Intelligence Research Institute, CSIC, Bellaterra, Spain*. 2011.
- KOTLER, Philip., CASLIONE, A. John. *Chaotics : the business of managing and marketing in the age of turbulence*. Printed in the United States of America. ISBN.13:978-0-8144-1521-4. 2009.
- KREPS, David M. et al. Rational cooperation in the finitely repeated prisoners' dilemma. *Journal of Economic theory*, v. 27, n. 2, p. 245-252, 1982.
- KUMAR, V. e PRADHAN, P. Reputation Management Through Online Feedbacks in e-Business Environment, *International Journal of Enterprise Information Systems*, v.12 n.1, p.21-37. 2016.
- LARRODÉ, E. J. M.; MORENO-JIMÉNEZ, M. V. and MUERZA, E. An AHP-multicriteria Suitability Evaluation of Technological Diversification in the Automotive Industry. *International Journal of Production Research* 50: 4889–4907. 2012.
- LESKINEN, P. Numerical Scaling of Ratio Scale Utilities in Multi-Criteria Decision Analysis with Geometric Model. *The Journal of the Operational Research Society*. Vol. 59, No. 3 (Mar., 2008), pp. 407-415. 2008.
- LESSING, O. R.; KREDENS, V. K.; GRANATYR, J.; BOTELHO, V.; ÁVILA, C. B.e SCALABRIN, E.E. Service Contracting Using Trust and Risk Models. *Proceedings of the 2018 IEEE 22nd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*. DOI:10.1109/CSCWD.2018.8465185. 2018.
- LESSING, O. R.; GRANATYR, FRANCISCON, E., V.; ÁVILA, C. B .e SCALABRIN, E.E. Decision-Making: From Pure Uncertainty to Measurable Risk. *CSCWD 2019 (2019 IEEE 23rd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design)*. 2019.
- LI, Li et al. A Quantifiable Trust Model for Multi-agent System Based on Equal Relations. In: *Computational Intelligence and Security, 2007 International Conference on*. IEEE. p. 291-295. 2007.
- LI, B.; LI, R-H.; KING, I.; LYU, R. M. and YU, X. J. A topic-biased user reputation model in rating systems, *Knowledge and Information Systems*, v.44 n.3, p.581-607. 2015.
- LIANG, G. e M. WANG. A Fuzzy Multi-criteria Decision Method for Facility Selection, *International Journal of Production Research*, vol. 29, n. 11, p. 2313-1330. 1992.
- LIMA, Fabiano Guasti. *Análise de Riscos*. Editora Atlas. São Paulo. ISBN: 9788597016444. 2018.
- LINDEN, R. *Algoritmo Genético: Uma importante ferramenta da Inteligência computacional*. 3ª Edição. Ed. Ciência Moderna. ISBN: 9788539901951. 2012.
- LIU, Siyuan et al. iCLUB: An integrated clustering-based approach to improve the robustness of reputation systems. In: *The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 3*. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. p. 1151-1152. 2011.

- LIU, Siyuan et al. A Dempster-Shafer theory based witness trustworthiness model to cope with unfair ratings in e-marketplace. In: Proceedings of the 14th Annual International Conference on Electronic Commerce. ACM, 2012. p. 99-106. 2012.
- LIU, Xin; DATTA, A. Modeling context aware dynamic trust using hidden Markov model. In: Twenty-Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2012.
- LIU S., Yu H., Miao C., Kot A.C. A Fuzzy Logic Based Reputation Model Against Unfair Ratings. AAMAS'13 Proceedings of the 2013 International Conference on Autonomous agents and multi-agent systems. Page 821-828. 2013.
- LOCATELLI, G., MANCINI, M. A framework for the selection of the right nuclear power plant. International Journal of Production Research. Vol. 50, No. 17, 1 September 2012, pp. 4753–4766. 2012.
- LU, Gehao et al. A review on computational trust models for multi-agent systems. *The open information science journal*, v. 2, p. 18-25, 2009.
- LU G., Lu J., Yao S., Yip J. A Review on Computational Trust Models for Multi-agent Systems. School of computing and Engineering, University of Huddersfield, Huddersfield, UK and Laboratory of Network Intelligence Computing, University of Yunnan, Kunming, Yunnan, China. 2009.
- LUCAS, Peter. Knowledge acquisition for decision-theoretic expert systems. *A/SB Quarterly*, 94, 23-33. 1996.
- LUHMANN, N. *Trust and Power*. New York: Wiley, 1979.
- LUJAK M.; Billhardt H.; Ossowski S. Distributed coordination of emergency medical service for angioplasty patients. In: *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*. pp 1-28. 2016.
- MACEDO JUNIOR, J. S.; KOLINSKY, R.; MORAIS, J. C. J. *Finanças comportamentais: como o desejo, o poder, o dinheiro e as pessoas influenciam nossas decisões*. São Paulo: Atlas, 2011.
- MACCRIMMON, K. R., & WEHRUNG, D. A. Assessing risk propensity. In L. Daboni, A. Montesano, & M. Lines (Eds.), *Recent developments in the foundations of utility and risk theory* (pp. 291-309). Dordrecht: Reidel Press. 1986.
- MACHARIS, C., BERNARDINI, A. Reviewing the use of Multi-Criteria Decision Analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach, *Transport Policy* 37, 177 -186. 2015.
- MAES, Pattie. Artificial life meets entertainment: lifelike autonomous agents. *Communications of the ACM*, v. 38, n. 11, p. 108-114, 1995.
- MAJD, E. and BALAKRISHNAN, V. Selecting advisor agents using reliability, reputation and risks. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 29, no. 5, pp. 1835-1846, 2015
- MALEKI, H., e ZAHIR, S. A Comprehensive Literature Review of the Rank Reversal Phenomenon in the Analytic Hierarchy Process. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis – Optimization, Learning and Decision Support*. Ago/2012. DOI: 10.1002/mcda.1479. 2012.
- MARCH J. G. e CHAPIRA Z. Variable risk preferences and the focus of attention. *The American Psychological Review*. Vol. 99 No. 1, 172-183. 1992.
- MARSH, Stephen Paul. *Formalizing trust as computational concept*. Department of Computing Science and Mathematics University of Stirling. 1994.
- MARIMOM, R., NICOLINI, J.P., TELES, P. Competition and Reputation. In *Proceedings of the World Conference Econometric Society*, Seattle. 2000.

- MARSHALL, A. Principles of Economics (8<sup>th</sup> ed.) The Online Library of Liberty. London: Macmillan and Co. PLL v6.0 (generated September, 2011). (1920[2011]).
- MAS-COLELL, Andreu; WHINSTON, Michael D. e GREEN, Jerry R. Microeconomic theory. New York: Oxford University Press. ISBN: ISBN-13 978-0-19-507340-9. 1995.
- MAXIMILIANO, A.C.A., Introdução á Administração. Editora Atlas S.A. 5<sup>a</sup> Edição. São Paulo. 2008.
- MCNALLY , K.; O'MAHONY P.M. e SMYTH, B. A comparative study of collaboration-based reputation models for social recommender systems, *User Modeling and User-Adapted Interaction*, v.24 n.3, p.219-260, 2014.
- MEYER, C. Cryptography-A state of the art review. In: *CompEuro'89., VLSI and Computer Peripherals. VLSI and Microelectronic Applications in Intelligent Peripherals and their Interconnection Networks'*, Proceedings. IEEE, 1989. p. 4/150-4/154. 1989.
- MICHALEWICZ, Z. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. [S.l.]: springer - Verlag Berlin Heidelberg, 1992. ISBN 3-540-60676-9.1992.
- MILLET I, HARKER P.T. Globally effective questioning in the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*. 48: 88–97.1990.
- MILLET I., WEDLEY W.C. Modelling Risk and Uncertainty with the Analytic Hierarchy Process. Penn State Erie, School of Business, Erie, PA, USA. Wiley InterScience. 2002.
- MISZTAL, B. Trust in Modern Societies: The Search for the Bases of Social Order. Polity, 1st Edition, 1996.
- MOHAMMED F. A.; HAGAG, A.; EL-HAMEED, A. An Improvement Prioritization Model Integrating Analytic Hierarchy Process and Genetic Algorithm. *Conference Proceeding*. 2014.
- MOHAMMED, M. A., et al. A Review of Genetic Algorithm Application in Examination Timetabling Problem. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12: 5166-5181. DOI: 10.3923/jeasci.2017.5166.5181. 2017.
- MOKHTARI, E. et al. A context-aware reputation-based model of trust for open multi-agent environments. In: *Advances in Artificial Intelligence*. Springer Berlin Heidelberg. p. 301-312. 2011.
- MONEIM, A.F.A. Fuzzy Genetic Prioritization in Multi-Criteria Decision Problems. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Vol. 2, No.4, pp. 175-182. 2008.
- MONTANER, Miquel; LÓPEZ, Beatriz; DE LA ROSA, JOSEP, Luís. Developing trust in recommender agents. In: *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1*. ACM, 2002. p. 304-305. 2002.
- MONTESERIN, A. and AMANDI, A. Whom should I persuade during a negotiation? An approach based on social influence maximization, *Decision Support Systems*, v.77 n.C, p.1-20. 2015.
- MORANTE, Antonio Salvador, JORGE, Fauzi Timaco. Administração financeira: decisões de curto prazo, decisões de longo prazo, indicadores de desempenho. Editora Atlas. Vital Source Bookshelf Online. 2012.
- MUI L. A Computational Model of Trust and Reputation: Agents, Evolutionary Games, and Social Networks. Department of Electrical Engineering and Computer Science. Massachusetts Institute of Technology. 2002.
- MUTOH A.; Imura Y.; Kato R.; Matsui T.; Inuzuka N. A model of friendship networks based on social network analysis. In: *Artificial Life and Robotics Volume 21, Issue 2*, pp 165-170. 2016.

- NEVILLE, Brendan; PITT, Jeremy. A computational framework for social agents in agent mediated e-commerce. In: *Engineering Societies in the Agents World IV*. Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 376-391. 2004.
- NUNES, M.A.S.N. Computação Afetiva personalizando interfaces, interações e recomendações de produtos, serviços e pessoas em ambientes computacionais. In: *Portfólio DCOMP*. Editora UFS, 2011.
- ONO, M. & Williams. B. C. Market-based Risk Allocation for Multi-agent Systems. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS 2010*, Toronto, Canada, May 10-14, 2010.
- ONO, M., WILLIAMS, B. C. Lars Blackmore. Probabilistic Planning for Continuous Dynamic Systems under Bounded Risk. *Journal of Artificial Intelligence* 46 (2013): 511-577. © 2013 AI Access Foundation. 2013.
- OZDAGOGLUN, A. e OZDAGOGLUN, G. Comparison Of Ahp And Fuzzy Ahp For The Multicriteria Decision Making Processes With Linguistic Evaluations. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* Yıl: 6 Sayı:11Bahar 2007/1 s. 65-85. 2007.
- OZTURK, N., KARACAN, I., TORZAN, H. and VAYVAY, O. Defining Criteria Weights By AHP In Health Technology Assessment. *Pharmacoeconomics and Outcomes Research*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jval.2017.08.1802>. 2017.
- PAIVA, C. A. N. e CUNHA, A. M. *Noções de economia*. Brasília: Fundação Alexandre Gusmão, 2008.
- PARDALOS, P. M.; SISKOS, Y.; ZOPOUNIDIS, C. *Advances in multicriteria analysis*, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- PATRICK, A. Building Trustworthy Software Agents .*IEEE Internet Computing*, 6(6):46–53, November-December 2002.
- PAYNE, J., BETTMAN, J. e JOHNSON, E. Adaptive Strategy Selection in Decision Making. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. DOI: 10.1037/0278-7393.14.3.534. 1998.
- PEDRYCZ, W., RUSSO, B. e SUCCI, G. A model of job satisfaction for collaborative development processes. *Journal of Systems and Software*. ResearchGate. 84(5):739-752. DOI: 10.1016/j.jss.2010.12.018. 2011.
- PENSADORES. *Ética a Nicômaco; Poética; Seleção de textos de José Américo Motta Pessanha*. Os pensadores, 4ª ed. v. 2. p.37. São Paulo: Nova cultural, 1991.
- PINYOL, Isaac; SABATER-MIR, Jordi. Computational trust and reputation models for open multi-agent systems: a review. *Artificial Intelligence Review*, v. 40, n. 1, p. 1-25, 2013.
- PIUNTI, Michele et al. Multimodal Trust Formation with Uninformed Cognitive Maps (UnCM). In: *Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 3*. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. p. 1241-1242. 2012.
- PEDRIGÃO, J.G.L., FULGÊNCIO, E.V., SOUSA, S.A.C., MAGALHAES NETO, J.B.; DORNELAS, J.D. Processo Decisório: Um Estudo Comparativo da Tomada de Decisão em Organizações de Segmentos Distintos. *Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*. Resende: Universidade Federal Fluminense, 17 p. 2012.
- POVEY, D. Developing Electronic Trust Policies Using a Risk Management Model. In *Proc. Of the Secure Networking - CQRE (Secure)'99*, International Exhibition and Congress, LNCS 1740, pages 1–16, Dusseldorf, " Germany, November 30 - December 2 1999. Springer. 1999.

- PURDY, G. ISO 31000. 2009: setting a new standard for risk management. *Risk Analysis*. Vol. 30, n. 6, p. 881-886, 2010.
- PUTRI, A. M e MAHMUDY, F.W. Optimization of analytic hierarchy process using genetic algorithm for selecting tutoring agencies in Kampung Inggris Pare. 2016 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS). IEEE.Malang, Indonesia. 2017.
- RAFF, D. M. G.; Risk Management in an Age of Change. Philadelphia: Wharton School, University of Pennsylvania, 2000.
- RAMCHURN, Sarvapali D.; HUYNH, Dong; JENNINGS, Nicholas R. Trust in multi-agent systems. *The Knowledge Engineering Review*, v. 19, n. 01, p. 1-25, 2004.
- REGAN, Kevin; POUPART, Pascal; COHEN, Robin. Bayesian reputation modeling in emarketplaces sensitive to subjectivity, deception and change. In: *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence*. Menlo Park, CA; Cambridge, MA; London; AAAI Press; MIT Press; 1999, 2006. p. 1, 2006.
- REHÁK, Martin et al. Trust model for open ubiquitous agent systems. In: *Intelligent Agent Technology, IEEE/WIC/ACM International Conference on*. IEEE, p. 536-542.2005.
- RESENDE, S. O. *Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações*. Ed. Manole Ltda. ISBN: 85-204-1683-7. 2a Ed. (2003[2005]).
- RETTINGER, A. e NICKLES, Matthias; TRESP, Volker. A statistical relational model for trust learning. In: *Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems-Volume 2. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems*, p. 763-770. 2008.
- REZAEI, J., and R. ORTT. R. Multi-criteria Supplier Segmentation Using a Fuzzy Preference Relations Based AHP. *European Journal of Operational Research* 225: 75–84. 2013.
- RISHVARAJ, G.; PONNAMBALAM, G.S. and KIONG, C. L. An efficient trust estimation model for multi-agent systems using temporal difference learning. *The Natural Computing Applications Forum*. 2016.
- RIETKOTTER, L. The development and evaluation of guidelines for the use of MACBETH in multi-criteria group decision making for the assessment of new medical products. University of Twente, Master of Science Thesis, Health Sciences, Specialization Health Technology Assessment and Innovation. 2014.
- ROGER, B. M. *Probability Models for Economic Decisions*. 1<sup>st</sup> Edition. ISBN-13: 978.0534423810. Duxbury. 2005.
- ROGERS, P.; SECURATO, R. J.; RIBEIRO K. C. S. *Finanças comportamentais no Brasil: um estudo comparativo*. SPELL – Scientific Periodicals Electronic library. *Revista de Economia e Administração*, São Paulo, v. 6, n.1, p. 49-68, 2007.
- ROSA, G.M; TOLEDO, J.C. *Gestão de riscos e a norma ISO 31000: importância e impasses rumo a um consenso*. V Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa, PR, Brasil, 02 a 04 de dezembro de 2015.
- ROSENCHAIN, J. S., & ZLOTKIN, G. *Rules of Encounter: Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers*. Cambridge. MA, MIT Press. 1994.
- RUSSEL, S., NORVIG, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3a Edition. Prentice Hall. ISBN-13: 978-0-13-604259-4. 2010.

- ROUSSEAU, D. M., SITKIN, S. B., BURT, R. S. & CAMERER, C. Not So Different After All: A Cross-discipline View of Trust, *Academy of Management Review* 23(3): 393–404. 1998.
- ROY, B. *Multicriteria Modelling for Decision Aiding*. Business & Management. Springer. 1996.
- SAATY, T. L. A. Scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15, p. 234-281, 1977.
- SAATY, T.L. “The Analytic Hierarchy Process.” McGraw-Hill, New York. 1980.
- SAATY, T. L. *Decision Making with Dependence and Feedback: the Analytic Network Process*, RWS Publications, Pittsburgh (USA). 1996.
- SAATY, T. L. Comment by Thomas L. Saaty. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. Optimization, Learning and Decision Support*. Wiley Online Library. 1999.
- SAATY, T. L., L. G. VARGAS. *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA. 2000.
- SAATY Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. University of Pittsburgh, Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, 2008.
- SABATER, Jordi; SIERRA, Carles. Reputation and social network analysis in multi-agent systems. In: *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1*. ACM, p. 475-482. 2003.
- SABATER, Jordi; SIERRA, Carles. Review on computational trust and reputation models. *Artificial intelligence review*, v. 24, n. 1, p. 33-60, 2005.
- SAJEDINEJAD, A. e CHAHARSOOGHI, K. S. Multi-Criteria Supplier Selection Decisions in Supply Chain Networks: A Multi-Objective Optimization Approach. *Industrial Engineering & Management Systems*. Vol 17, No 3, September 2018, pp.392-406. 2018.
- SALEHI-ABARI, A., White, T. DART: A Distributed Analysis of Reputation and Trust Framework. *Computational Intelligence*, 28: 642–682. doi: 10.1111/j.1467-8640.2012.00453.x. 2012.
- SALGADO, E. G., V. A. P. SALOMON, and C. H. P. MELLO. Analytic Hierarchy Prioritisation of New Product Development Activities for Electronics Manufacturing. *International Journal of Production Research* 50: 4860–4866. 2012.
- SALOMON, V. P. e J. A. MONTEVECHI. Método de Análise em Redes: o Sucessor do Método de Análise Hierárquica? XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (anais em CD-ROM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Associação Brasileira de Engenharia de Produção, Gramado/RS. 1997.
- SALOMON, A. P. V., MONTEVECHI, B. A. J. A Compilation Of Comparisons On The Analytic Hierarchy Process And Others Multiple Criteria Decision Making Methods: Some Cases Developed In Brazil, IN: *International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, Proceeding p. 413-420, Berna (Suíça): Bern Universidad. 2001.
- SALOMON, V., ZINOVIESTA, O. and ZINOVIESTA, A. Book review: Alessio Ishizaka’s and Philippe Nemery’s Multi-criteria decision analysis. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*. DOI: 10.13033/ijahp.v5i2.201. 2013.
- SANTANA, E. A. Múltiplos Critérios: uma Alternativa, Apesar das Fragilidades das Soluções. XVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (anais em CD-ROM), Universidade Metodista de Piracicaba/Associação Brasileira de Engenharia de Produção, Piracicaba/S. 1996.
- SARKIS, J., and S. TALLURI. Evaluating and Selecting E-commerce Software and Communication Systems for a Supply Chain. *European Journal of Operational Research* 159: 318–329. 2004.

- SARUL, S. L., and EREN O. The comparison of MCDM Methods including AHP, TOPSIS and MAUT with an Application on Gender Inequality Index. *EJIS European Journal of Interdisciplinary Studies Articles*, European Center for Science Education and Research, vol. 4. January-A. 2016.
- SBEITY, I.; DBOUK, M. e KOBEISSI, H. Combining the Analytical Hierarchy Process and The Genetic Algorithm to Solve the Timetable Problem. *International Journal of Software Engineering & Applications (IJSEA)*, Vol.5, No.4, July 2014.
- SCHILLO, Michael; FUNK, Petra; ROVATSOS, Michael. Using trust for detecting deceitful agents in artificial societies. *Applied Artificial Intelligence*, v. 14, n. 8, p. 825-848, 2000.
- SCHMIDT, A. M. Processo de Apoio à Tomada de Decisão Abordagens: AHP e MACBETH, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC. 1995.
- SCHOEMAKER, P. J. H. Subjective Expected Utility Theory Revisited: A Reductio ad Absurdum Paradox. *Theory and Decision*, v.33, p. 1-21, Junho 1992.
- SCHOEMAKER, P. J. H. Strategic decisions in organizations. *Journal of Management Studies* 30, 107–129. 1993.
- SEN, Sandip; SAJJA, Neelima. Robustness of reputation-based trust: Boolean case. In: *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1*. ACM, 2002. p. 288-293. 2002.
- SERRANO, Emilio; ROVATSOS, Michael; BOTIA, Juan. A qualitative reputation system for multiagent systems with protocol-based communication. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 1*. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2012. p. 307-314. 2012.
- SHEHADA, D.; YEUN, Y.C.,; ZEMERLY, J.M.; QUATAYRI, A. M.; HAMMADI, A. Y. e HU, L. A new adaptive trust and reputation model for Mobile Agent Systems. *Journal of Network and Computer Applications*. Volume 124, 15 December 2018, Pages 33-43. 2018.
- SHMEIL, M. A. H., *Sistemas Multiagente na Modelação da Estrutura e Relações de Contratação de Organizações*, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 1999.
- SIERRA, Carles; DEBENHAM, John. An information-based model for trust. In: *Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*. ACM, 2005. p. 497-504. 2005.
- SIMPSON, J. A. *Psychological Foundations of Trust*. University of Minnesota, Twin Cities Campus. Association for Psychological Science. 2007.
- SIMON, H. A. Rational decision making in business organizations. *The American Economic Review*, volume 69, number 4, p. 493-513. 1979.
- SIMON, H. A. *Models of bounded rationality (2 vols.)*. Cambridge, MA: MIT Press.1982
- SINGH, Munindar P. Trust as dependence: a logical approach. In: *The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 2*. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2011. p. 863-870. 2011.
- SIRDESHMUKH, D. SINGH, J., & SABOL, B. Consumer Trust, Value, and Loyalty in Relational Exchanges. *Journal of Marketing*. 66, 15-37. 2002.

- SONG, Weihua; PHOHA, Vir V.; XU, Xin. An adaptive recommendation trust model in multiagent system. In: Intelligent Agent Technology, 2004. (IAT 2004). Proceedings. IEEE/WIC/ACM International Conference on. IEEE, 2004. p. 462-465. 2004.
- SOUCEK, B., e IRIS G. Dynamic, Genetic, and Chaotic Programming: The Sixth-generation, Editora Branko Souček. V. 3 de Sixth Generation Computer Technologies. Wiley-Interscience publication. ISBN: 047155717X, 9780471557173, Willey. 1992.
- STEIGUER, J. E. DE; DUBERSTEIN, Jenifer; LOPES, Vicente. The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management. Disponível em <:http://www.tucson.ars.ag.gov/icrw/Proceedings/Steiguer.pdf.> Acesso em: 26/07/2018. 2005.
- SU X., ZHANG M., MU Y., BAI Q. A robust trust model for service-oriented systems. School of Computer Science and Software Engineering, University of Wollongong, Wollongong, NSW 2522, Australia; School of Computing and Mathematical Sciences, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand. 2013.
- SUN Xin,, Jun ZHENG Jun, , PANG Yin, YE Chengfeng, Lei ZHANG Lei. An Improvement Model of Analytic Hierarchy Process Based on Genetic Algorithm. High Performance Networking, Computing, and Communication System. Volume 163 of the series Communications in Computer and Information Science pp 237-244. 2011.
- SUPÇILLER, A. A. and ÇAPRAZ, O. AHP-TOPSIS Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi Uygulaması,Ekonometri ve İstatistik Sayı:13 (12. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı), pp. 1–22. 2011.
- SUPRAJA S and KOUSALYA, P. A comparative study by AHP and TOPSIS for the selection of all round excellence award. International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), Chennai, 2016, pp. 314-319. 2016.
- SUTCLIFFE A., WANG D. Computational Modelling of Trust and Social Relationships. Journal of Artificial Societies and Social Simulation 15 (1) 3. 2012.
- SWASON, M. J. Incorporating Public Perceptions Into The Selection Of A Nuclear Fuel Cycle. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Mechanical & Nuclear Engineering at Virginia Commonwealth University. Disponível em: <https://scholarscompass.vcu.edu/etd/3786>, em 25/06/18. 2015.
- TEACY, W. T. *et al.* Sequential decision making with untrustworthy service providers. In: Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems-Volume 2. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. p. 755-762. 2008.
- TEACY, WT Luke *et al.* Travos: Trust and reputation in the context of inaccurate information sources. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, v. 12, n. 2, p. 183-198, 2006.
- TEACY, W. T. et al. An efficient and versatile approach to trust and reputation using hierarchical bayesian modelling. Artificial Intelligence, v. 193, p. 149-185, 2012.
- THALER, R. Toward A Positive Theory of Consumer Choice. Journal of Economic Behavior and Organization 1 3960. North-Holland. Cornell University, Ithaca, NY 14853, USA. 1980.
- TONG, Xiangrong; HUANG, Houkuan; ZHANG, Wei. Agent long-term coalition credit. Expert systems with applications, v. 36, n. 5, p. 9457-9465, 2009.
- TRIANAPHYLLOU, E. Multi-criteria Decision Making Methods – A Comparative Study. Business & Management, Springer Verlag. 2000.
- TRAN, Thomas; COHEN, Robin. Improving user satisfaction in agent-based electronic marketplaces by reputation modelling and adjustable product quality. In: Proceedings of the Third

- International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 2. IEEE Computer Society, p. 828-835. 2004.
- TURKSEN, B. Review of fuzzy system models with an emphasis on fuzzy functions. Transactions of the Institute of Measurement and Control. DOI: 10.1177/0142331208090627. Sage Journals. 2009.
- TYAGIA, M., KUMAR P., KUMAR D. A hybrid approach using AHP-TOPSIS for analyzing e-SCM. 2014.
- VANICEK, T. e KUCEROVA, J. New approach to decision making by multiple criteria analysis. 9th International Scientific Conference Building Defects (Building Defects 2017). MATEC Web Conf. Volume 146, 2018.
- VENANZI, Matteo et al. Facing openness with socio-cognitive trust and categories. In: Proceedings of the Twenty-Second international joint conference on Artificial Intelligence-Volume Volume One. AAAI Press, p. 400-405.2011.
- VOGIATZIS, George; MACGILLIVRAY, Ian; CHLI, Maria. A probabilistic model for trust and reputation. In: Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: volume 1-Volume 1. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. p. 225-232. 2010.
- VON NEUMANN, Jhon, Morgenstern Oskar. Theory of Games and Economic Behavior. New Jersey. Princeton University Press, (1944 [1980]).
- ZADEH L. A. Similarity relations and fuzzy orderings. Information sciences. The Journal of Symbolic Logic. Volume 38, Issue 04, December, pp. 656-657. 1973.
- ZANAKIS, S. H., SOLOMON, A., WISHART, N., and DUBLISH. S. Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods., European Journal of Operational Research, n. 107, p. 507-52. 1998.
- ZHONG, Y.; BHARGAVA, B.; LU, Y. and ANGIN, P. A computational dynamic trust model for user authorization. IEEE Trans. Depend. Secure Comput. 12, 1 (Jan. 2015), 1-15. 2015
- ZUO, Y.; LIU, J. A reputation-based model for mobile agent migration for information search and retrieval. International Journal of Information Management – ScienceDirect, Elsevier. 37(5), 357-366, 2017.
- WAHAB, A. O.; BENTAHAR, J.; OTROK, H. e MOURAD, A. A survey on trust and reputation models for Web services, Decision Support Systems, v.74 n.C, p.121-134, June 2015 [doi>10.1016/j.dss.2015.04.009]. 2015.
- WANG, Y., VASSILEVA, J. Trust and Reputation Model in Peer-to-Peer Networks. Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing, Linköping, Sweden, pp 150-158, 2003.
- WANG, Y.; LI, M.; DILLON, E.; CUI, L. G.; HU, J. J.; LIAO, L. J. A context-aware computational trust model for multi-agent systems. In: Networking, Sensing and Control, 2008. ICNSC 2008. IEEE International Conference on. IEEE. p. 1119-1124. 2008.
- WANG, J., YU, T. and WANG, W. Integrating Analytic Hierarchy Process and Genetic Algorithm for Aircraft Engine Maintenance Scheduling Problem. Intelligent and Soft Computing. Vol. 66, pp. 897-915, 2010.
- WANG, G., Gui X. Dynamic Recommendation Trust Model Based on Information Entropy and Heuristic Rules in E-Commerce Environment. Department of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049, China; School of Information, Xi'an University of Finance and Economics Xi'an, 710100, China. 2013.

- WANG L.; LIU, X.; KONG, L.; LI, F. e LI, J. A Sustainable Model of Flow Shop Scheduling for High-Efficiency, Energy-Saving and Low-Cost. International Conference on Sustainable Design and Manufacturing. KES-SDM 2018: Sustainable Design and Manufacturing pp 82-94. 2018.
- WEBER, E. U. and Johnson, E. J. Mindful judgment and decision making. *Annual Review of Psychology* 60, 53–85. 2009.
- WEISS, Gerhard. *Multiagent Systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*. MIT press, 1999.
- WEIRICH, P. Expected Utility and Risk. *The British Journal for the Philosophy of Science*, v.37, n.4, p. 419-442. 1986.
- WOOLDRIDGE, Michael; JENNINGS, Nicholas R. Intelligent agents: Theory and practice. *The knowledge engineering review*, v. 10, n. 02, p. 115-152, 1995.
- WOOLDRIDGE, M. *An Introduction to MultiAgent Systems*. Department of Computer Science, University of Liverpool, UK. John Wiley & Sons, LTD. (2002 [2009]).
- XIE, X. F.; WANG, X.T. Risk Perception and risky choice: Situational, Informational and Dispositional Effects. *Asian Journal of Social Psychology*, v. 6, p. 117-132, 2003.
- YEH, J.M, C LIN, C. KRENG B; GEE J.Y. A modified procedure for synthesising ratio judgements in the analytic hierarchy process. *Journal of the Operational Research Society*. 50, 867-873. 1999.
- YOU, Liangjun. *An adaptive reputation-based trust model for intelligent agents in emarketplace*. ProQuest, 2007.
- YU, H.; SHEN, Z.; LEUNG, C.; MIAO, C.; and LESSER. R.V. A survey of multi-agent trust management systems. *IEEE Access* 1 (Jan. 2013), volume 1, p. 35-50. DOI: 10.1109/ACCESS.2013.2259892. 2013.
- ZAKARIA, N. F.; MOHAMED, H. D.; RAZAK AB, “Deriving Priority in AHP using Evolutionary Computing Approach”, *WSEAS transactions on information science and applications*, Vol.7, No.5, pp.714-724, 2010.
- ZHANG, L. Comparison Of Classical Analytic Hierarchy Process (AHP) Approach And Fuzzy Ahp Approach In Multiple-Criteria Decision Making For Commercial Vehicle Information Systems And Networks (Cvisn) Project. ResearchGate. 2010.
- ZHENG, Xiaoqing et al. Developing a composite trust model for multi-agent systems. In: *Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*. ACM, p. 1257-1259. 2006.

# APÊNDICES

## APÊNDICE I – Otimização multiobjetivo

O desenvolvimento tecnológico está exercendo mudanças profundas no modo de pensar, nas relações humanas e de trabalho, além de estar impactando em todas as áreas de conhecimento. Tais fatores tornam a tomada de decisão cada vez mais complexa (HO et al., 2010). Considerando a tomada de decisão como um processo inevitável, torna-se necessário criar métodos para facilitar essa tarefa. Neste contexto, devido à complexidade do ambiente econômico, social e tecnológico, fica claro que o progresso depende cada vez mais da adoção de procedimentos inovadores de gestão. Uma resposta para essas necessidades são os métodos de tomada de decisão (DE ALMEIDA et al., 2015).

Esses métodos são ferramentas que envolvem modernas técnicas de sistemas informacionais, inteligência artificial, métodos quantitativos estatísticos, psicologia cognitiva e comportamental, técnicas de otimização entre outras. Essas técnicas visam oferecer aos indivíduos condições favoráveis à escolha, minimizando as chances de erro na tomada de decisão. Destaca-se aqui, os métodos de apoio de decisão com a metodologia multicriteriais de apoio à decisão (GHARAKHANI et al., 2014). Outro destaque importante é a criação de produtos competitivos que, devido à escassez de recursos, exige o desenvolvimento de projetos otimizados, segundo objetivos conflitantes. Tais objetivos quando considerados simultaneamente, concorrem entre si, de tal modo que a melhoria de um leva à degradação dos demais (VANICEK E KUCEROVA, 2018).

Inicialmente, esse tipo de problema era tratado de forma simplista como um problema mono-objetivo: agregando-se todos os objetivos em uma única função ou transformando todos os objetivos, exceto um, em restrições. Entretanto, a noção de otimalidade mono-objetivo logo mostrou-se inadequada para esse tipo de problema. A maior parte da pesquisa em otimização multiobjetivo tem se concentrado na busca por soluções não-dominadas. O desenvolvimento de novos algoritmos de busca é motivado pela grande diversidade e complexidade dos problemas encontrados na prática. Esses podem ser lineares ou não-lineares; restritos ou irrestritos; mono ou multimodais; convexos ou não-convexos; envolver variáveis contínuas ou discretas (HSU, 2018; SAJEDINEJAD e CHAHARSOOGHI, (2018)). Nos últimos anos foram propostas várias maneiras de se introduzir o conceito de não-dominância em algoritmos de busca. Algoritmos evolucionários é o conceito a ser estudado a seguir.

## 1. Algoritmos Evolucionários

Em meados do século passado, alguns biólogos se interessaram em desenvolver simulações computacionais com base em sistemas genéticos. Entre eles, destacou-se John Holland com sua obra em 1975 *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, hoje considerado como literatura básica de Algoritmos Genéticos (HOLLAND, 1992). Desde então, estes algoritmos estão sendo aplicados em diversas áreas, tais como: biologia, engenharia, matemática, computação entre outras, para resolver problemas complexos que exigem otimização, entre eles problemas multicritério.

Este tipo de algoritmo fornece mecanismos de busca adaptativa. Eles simulam a evolução das espécies por meio da seleção, mutação e reprodução. Estes processos dependem do *desempenho* dos indivíduos desta espécie no *ambiente*. Eles buscam dentro da população, soluções que possuem as melhores características e tenta combiná-las de forma a gerar soluções ainda melhores. Este processo é repetido até que tenha se passado tempo suficiente ou tenha obtido uma solução satisfatória para o problema (HOLLAND, 1992).

Algoritmos evolucionários são dependentes de fatores estocásticos (probabilísticos) e tem como vantagem a grande capacidade de encontrar ótimos globais de funções com alto grau de complexidade e o fato de não exigir o cálculo de derivadas (GEN, 2000). Além disso, no caso específico de busca multicritério, o emprego de algoritmo evolucionário tem ainda como vantagem o fato de que seus métodos geralmente trabalham com um conjunto de pesos a cada interação, permitindo que várias amostras sejam obtidas em uma única execução do algoritmo (COSTA, 2011). Outra vantagem que justifica a escolha do algoritmo genético nessa tese para otimizar a matriz AHP é a robustez, o paralelismo natural, independência, simplicidade e integração com o modelo de risco R1 e R2.

Os sistemas evolutivos caracterizam-se por tentar resolver problemas complexos, acumulam informações sobre o problema e utilizam essas informações para gerar soluções aceitáveis. Vários estudos utilizam algoritmos genéticos para buscar a melhor maneira de ajustar as ponderações reais dos critérios AHP e fornecem uma função para melhorar automaticamente a taxa de consistência das comparações entre pares. Alguns exemplos são: Cziner e Hurme, (2003); Guan et al., (2009); Alberto et al., (2009); Zakaria et al., (2010); Costa et al., (2012), Mohammed e Hagag, (2013), Badri e Sedaghat (2017), Hsu, (2018), Fanei et al., (2018); Wang et al., (2018) e Sajedinejad e Chaharsooghi, (2018) combinam algoritmos genéticos com AHP para a tomada de decisão multicritério. Adicionalmente, neste estudo, busca-se construir e aplicar um algoritmo genético em matrizes decisórias para auxiliar na resolução de inconsistência matricial do método AHP.

As próximas seções descrevem as características dos algoritmos genéticos, que constituem uma classe de métodos amplamente conhecidos. Sua alta popularidade se deve a sua aplicabilidade e facilidade de utilização.

### 1.1 Algoritmos Genéticos.

Algoritmos genéticos são algoritmos de busca e apoiam-se em mecanismos de seleção natural e genética. A tarefa de busca ou otimização possui vários componentes, a saber: o espaço de busca, onde são consideradas todas as possibilidades de solução de um problema e a função de avaliação – ou função de custo – que avalia os elementos no espaço de busca (GINSBERG, 1983).

A função de avaliação deve calcular um valor numérico. Ela reflete a importância dos parâmetros representados no cromossomo para resolver o problema. O valor numérico deve ser uma métrica de qualidade da solução obtida. A avaliação deve priorizar o melhor cromossomo no espaço de busca, tal que se o cromossomo  $x_1$  representa uma solução melhor que  $x_2$ , então a avaliação de  $x_1$  deve ser melhor que  $x_2$  (LINDEN, 2012).

Algoritmos genéticos utilizam técnicas heurísticas de otimização global. Eles se opõem a métodos que ficam estagnados no máximo global como o método *hill climbing* (LINDEN, 2008). Em outras palavras, *hill climbing* segue a derivada de uma função e busca encontrar o máximo de uma função, i.e., onde a derivada é zero (cf. Figura 26).

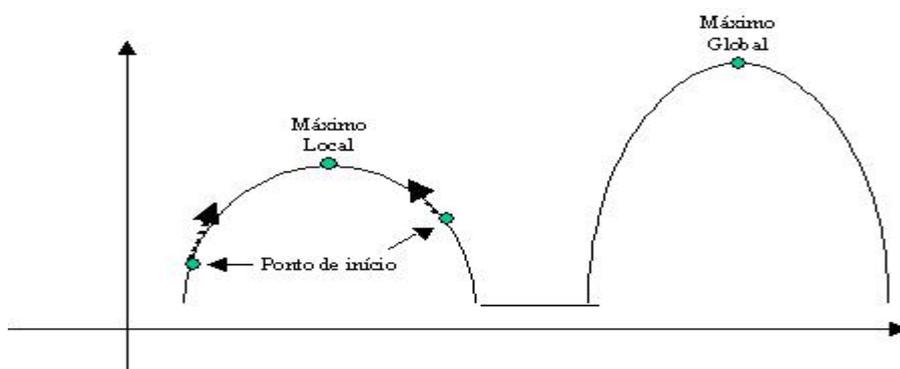


Figura 26. Função hipotética com um máximo local e outro global  
Fonte: (LINDEN, 2012)

Inicialmente, um algoritmo genético gera uma população formada por um conjunto aleatório de indivíduos e podem ser vistos como possíveis soluções do problema (LINDEN, 2012).

No decorrer do processo evolutivo, a população é avaliada: para cada indivíduo é dado uma nota ou peso, refletindo sua habilidade de se adaptar em determinado ambiente. Os mais adaptados são mantidos, enquanto que os demais são descartados. Os membros mantidos pela seleção são submetidos aos operadores genéticos e eles podem sofrer modificações em suas características fundamentais por meio de mutações e recombinação genética gerando descendentes para a próxima

geração. O processo de avaliação natural destes indivíduos é repetido e eventualmente pode gerar um indivíduo que caracterizará uma solução satisfatória (talvez até a melhor possível) para o problema definido (REZENDE, 2005).

Com relação aos métodos tradicionais de busca e otimização, os algoritmos genéticos (GOLDSCHIMDT, 2010; REZENDE, 2005):

1. não operam com os próprios parâmetros, i.e., operam com uma codificação do conjunto de parâmetros;
2. estabelecem um processo de evolução orientado por mecanismo de seleção e baseiam-se em adaptação de estruturas que avaliam cada solução frente ao problema a ser solucionado;
3. não usam somente informações locais, sendo capazes de escapar dos chamados máximos locais no processo de busca de soluções;
4. operam com uma população e não com um único indivíduo. Mantêm-se uma população de soluções que são avaliadas simultaneamente. Este processo faz com que a execução se torne mais dinâmico;
5. utilizam informações de custo – ou recompensa – e não derivadas. Estes algoritmos são indicados para o cálculo de funções com algum tipo de descontinuidade, i.e., sua derivada não pode ser calculada durante sua evolução. Além disso, não precisam de informações sobre os gráficos das funções para efetuar busca;
6. utilizam regras de transição probabilísticas e não determinísticas; e
7. utilizam buscas direcionadas e são indicados para lidar com problemas em que o tamanho do espaço de busca normalmente é grande.

Na seção a seguir são detalhadas as características gerais de um Algoritmo Genético e o seu ciclo de vida.

## 1.2 Características Gerais

Algoritmos genéticos empregam uma estratégia de busca paralela e estruturada, embora aleatória, direcionada à busca de pontos de alta aptidão. Como já dito, este tipo de algoritmo se destaca não por buscar uma solução ótima de um problema, mas sim, uma heurística que encontra boas soluções a cada execução, mas não necessariamente a mesma todas às vezes – podemos encontrar máximos – ou mínimos locais, próximos ou não do máximo global. Apesar de aleatórios, algoritmos genéticos não são buscas aleatórias não direcionadas, pois buscam informações históricas para encontrar novos pontos de busca onde são esperados bons desempenhos (CARVALHO, 2003).

O desempenho depende de processos iterativos chamado de geração. A cada geração, são aplicados os princípios de seleção e reprodução a uma população de candidatos que pode variar

dependendo da complexidade do problema. Indivíduos com maior adaptação relativa têm maiores chances de se reproduzir. O comportamento padrão do ciclo de vida de um Algoritmo Genético (cf. Algoritmo G1), pode ser resumido, sem maiores detalhes, pelo seguinte pseudocódigo:

Algoritmo G1. Pseudocódigo de um algoritmo genético

---

```

01: entrada: população inicial aleatória com  $n$  cromossomos
02: função fitness → avaliar a função  $f(x)$  de cada cromossomo  $x$ 
03:                               da população
04: repita: criar uma nova geração do processo evolutivo
05:   seleção: selecionar população (pais) de acordo com o fitness
06:   cruzamento: aplicar operadores de cruzamento sobre a população
07:   mutação: alterar cromossomos da nova geração
08:   aceitação: formar nova população com filhos gerados
09:   avaliar: calcular novo fitness de cada indivíduo da população
10:   teste: Se a condição de parada foi atendida vai para saída
11:   caso contrário vá para o linha 04
12: saída: melhor indivíduo presente na última geração

```

---

Fonte: o autor, (2018).

É possível perceber no pseudocódigo que o algoritmo G1 é dependente de fatores probabilísticos tanto na fase de inicialização da população quanto na fase de evolução (durante a seleção dos pais, principalmente). Cada uma das repetições do *loop* principal – em negrito é denominada de uma *geração* no algoritmo.

### 1.3 Representação

Nos sistemas naturais os cromossomos se combinam para formar características genéticas básicas do indivíduo em questão. Em algoritmo genético o cromossomo é uma estrutura de dados, geralmente vetores ou cadeias de valores binários e representa uma possível solução do problema a ser otimizado. O conjunto de configurações que o *cromossomo* pode assumir forma o seu *espaço de busca*. Caso o *cromossomo* representa  $n$  parâmetros de uma função, então o espaço de busca é um espaço com  $n$  dimensões (GEN e CHENG, 2000).

Outro aspecto importante é que a maioria das representações é genotípica, pois utilizam vetores e um alfabeto finito. O *genótipo* é a estrutura do *cromossomo*. Pode ser representado por um vetor binário, onde cada elemento de um vetor denota a presença (1) ou ausência (0) de uma determinada característica. As combinações destes elementos dão origem ao *fenótipo*, que forma as

características reais do indivíduo. A natureza do problema e a precisão influenciam na quantidade de *cromossomos*, e neste caso, quanto maior a estrutura de *cromossomos* para representar a solução, maior é a necessidade de memória computacional envolvida (ALI e EL-HAMEED, 2013).

Pesquisadores investigaram a utilização de representações em nível de abstração mais alta, pois essa transformação *fenótipo/genótipo* é muito complexa. Diante disso, é necessário criar operadores específicos para utilizar essas representações.

#### 1.4 Seleção dos Pais

O método de seleção deve simular o mecanismo de seleção natural e fazer com que, depois de muitas gerações, o conjunto inicial de indivíduos gere indivíduos mais aptos. Entretanto, a diversidade deve ser considerada, na medida em que se apenas os melhores indivíduos se reproduzirem a população tenderá a ser composta por indivíduos cada vez mais semelhantes causando *convergência genética*. A seleção de forma justa dos indivíduos menos aptos da população pode evitar esse problema, pois o equilíbrio da população também depende de indivíduos menos aptos, embora em menor quantidade (LINDEN, 2012).

Um algoritmo genético inicia uma população com  $n$  *cromossomos* e podem ser gerados aleatoriamente. Se houver um conhecimento *a priori* aceitável, próximo de uma solução ótima, os *cromossomos* iniciais podem ser definidos por uma função heurística. O processo de seleção deve privilegiar indivíduos mais aptos. Sendo assim, a cada *cromossomo* da população é atribuído um valor dado por uma função de aptidão, que recebe como entrada os valores do *gene* do *cromossomo* e fornece como resultado sua aptidão. Os *genes* podem ter um determinado valor entre vários possíveis, também chamados de *alelos*. A aptidão pode ser compreendida como uma nota que mede o grau de importância da solução codificada por um indivíduo, e apoia-se no valor da função-objetivo, que é específica para cada problema.

A função de aptidão é o único elo entre o algoritmo genético e o problema proposto. É a única parte não genérica do algoritmo genético e deve ser capaz de identificar as restrições e as técnicas de resolução do problema. Sendo assim, a função de avaliação deve embutir todo o conhecimento que possui sobre o problema a ser resolvido, tanto suas restrições quanto seus objetivos de qualidade. Por isso, a importância da nota do indivíduo deve refletir a mais alta aptidão. Três métodos de seleção se destacam com objetivo de atingir este propósito, embora necessitem manter a diversidade da população (KHALID, 2013; MOHAMMED et al., 2014):

i. **Método do Torneio:** seleciona  $n$  *cromossomos* da população atual, de forma aleatória, o com maior valor de *aptidão* é escolhido para compor uma população intermediária. Os que não foram escolhidos são recolocados na população e o processo é repetido até que a população intermediária esteja completa.

ii. **Método de Dizimação:** remove um número fixo de *cromossomos* que possuem baixo valor de *aptidão*. Dentre os *cromossomos* que sobreviveram, escolhem-se os pais de forma aleatória. Esta técnica permite que propriedades genéticas excepcionais sejam perdidas ao excluir cromossomos com baixo valor de aptidão, beneficiando a convergência prematura da população.

iii. **Método da roleta:** é o método de seleção mais simples e também o mais utilizado, inclusive nesta pesquisa. A seleção dos *cromossomos* ocorre de forma proporcional ao seu valor de *aptidão* em relação ao tamanho da fatia da roleta, que é girada  $n$  vezes até obter os pares necessários para o cruzamento. Desse modo, indivíduos com maiores aptidões ocupam fatias maiores na roleta, enquanto indivíduos de aptidão mais baixa ocupam fatias menores (LINDEN, 2012).

A Tabela 5 e a Figura 27 ilustram a criação de uma roleta com base os valores de aptidão dos indivíduos de uma população. Para selecionar os indivíduos a roleta gira um determinado número de vezes definido pelo tamanho da população – a roleta é simulada por um algoritmo e pressupõe que nenhum indivíduo tenha avaliação nula ou negativa. O ato de rodar a roleta deve ser completamente aleatório e os indivíduos selecionados são inseridos na população intermediária.

Tabela 24. Aptidão de indivíduos na população

Indivíduo	Cromossomo	Valor de aptidão
1	0010	5
2	0100	10
3	0101	21
4	1010	31
5	1101	42

Fonte: Autor, (2018)

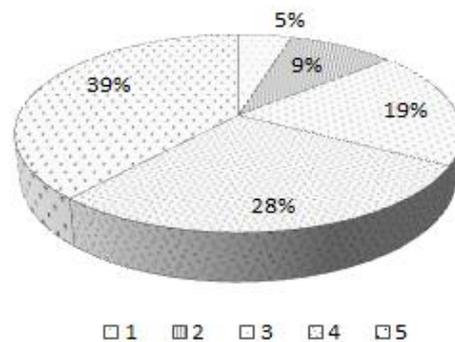


Figura 27. Método de seleção por roleta  
Fonte: Autor, (2018)

Assim, pode-se concluir que os mais fortes têm preferência para a reprodução, mas os mais fracos ainda possuem alguma chance – conforme a natureza. O passo seguinte é determinado pelos operadores genéticos.

## 1.5 Operadores Genéticos

Nesta fase é necessário um conjunto de operadores que contribuem para formar novas populações, tais como: cruzamento, e modificações genéticas (mutação).

## Cruzamento

Permite a troca de segmentos entre “pares” de *cromossomos* selecionados para originar novos indivíduos que virão a formar a população da geração seguinte. Espera-se que a nova população tenha características de seus pais, bem como a diversificação. Para prevenir que os melhores indivíduos não desapareçam da população, eles podem ser automaticamente colocados na próxima geração, por meio de uma política elitista (RESENDE, 2005).

A técnica elitista tem como princípio reintroduzir o melhor indivíduo melhor avaliado de uma geração para a seguinte, evitando assim, a perda de informações importantes presentes em indivíduos de alta avaliação. Para evitar a convergência de máximos locais é interessante controlar o número de vezes que o indivíduo pode ser reintroduzido (MOHAMMED et al., 2017).

Outra possibilidade de implementar o elitismo seria ao final das operações de cruzamento e mutação, considerar para a geração futura os melhores pais e descendentes. Desta forma, esta técnica reintroduz os melhores indivíduos avaliados na geração seguinte, indefinidamente. O *crossover* é o operador genético predominante e responsável por recombinar as características dos pais durante a reprodução e permite às próximas gerações herdarem essas características. Ele recombina e favorece a exploração no espaço de soluções em torno das já conhecidas e direciona o processo de evolução, de maneira geral. Normalmente é aplicado uma taxa de cruzamento ( $0 \leq P_c \leq 1$ ) e deve ser maior que a taxa de mutação, sendo usualmente ( $0,6 \leq P_c \leq 0,99$ ). Este operador pode ser utilizado de várias maneiras, tais como (RESENDE, 2005; LINDEN, 2012):

i. **Cruzamento de um-ponto:** é escolhido um ponto de corte aleatório onde o material genético dos pais é cruzado dando origem a dois novos cromossomos. Com um ponto de cruzamento, seleciona-se aleatoriamente um ponto de corte do cromossomo. Cada um dos dois descendentes recebe informação genética de cada um dos pais (cf. Figura 28).

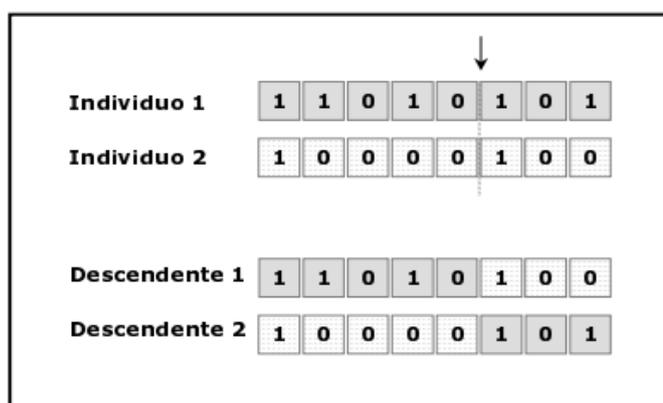


Figura 28. Cruzamento em um ponto

ii. **Cruzamento multiponto:** impõe um duplo ponto de corte nos cromossomos “pais” ocorrendo dois pontos de cruzamentos. Com dois pontos de cruzamento, um dos descendentes fica com a parte central de um dos pais e as partes extremas do outro pai e vice versa (cf. Figura 29).

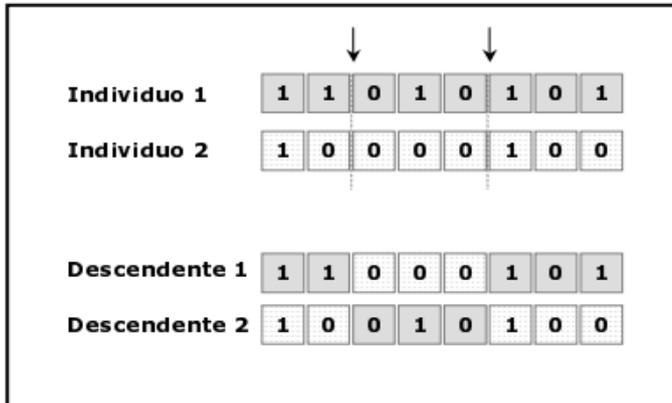


Figura 29. Cruzamento em dois pontos

iii. **Cruzamento uniforme:** os descendentes são gerados por meio da recombinação genética dos progenitores, de acordo com valores estabelecidos em uma máscara binária gerada aleatoriamente. A função de cruzamento heurístico retorna uma descendência que se encontra na linha que contém os dois pais, a uma pequena distância do pai com melhor aptidão e, conseqüentemente, longe do pai menos apto (cf. Figura 30)

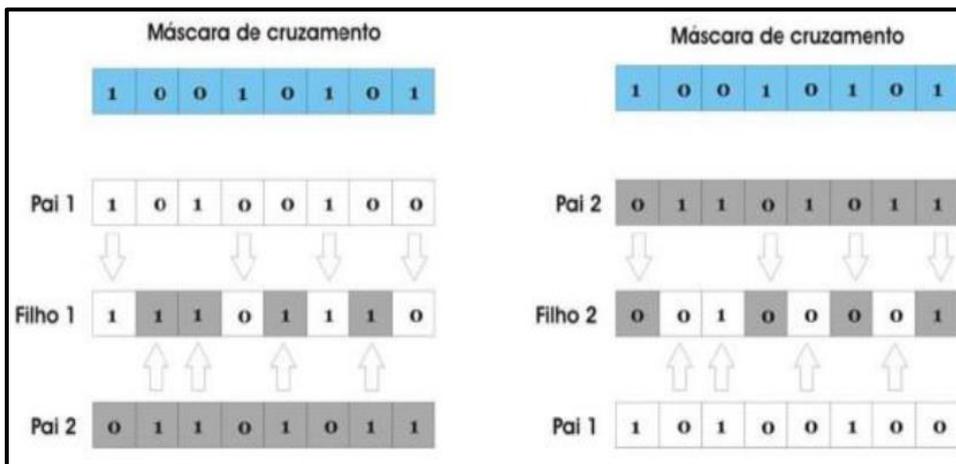


Figura 30. Cruzamento uniforme

Gen e Cheng (2000) e Linden, (2012) proporam diversos experimentos com vários operadores de cruzamento. Os resultados indicam que não há um operador de cruzamento que apresente desempenho superior ou inferior. Cada operador de cruzamento é particularmente eficiente para um determinado conjunto de problemas e pode ser extremamente ineficiente para outros.

## Mutação

Independentemente do tipo de algoritmo evolutivo, o operador de mutação tem a função de realizar alterações em um ou mais genes de um cromossomo a partir de seu estado inicial (GOLDSCHIMIDT, 2010). Esse mecanismo fornece meios para introduzir novos elementos na população, o que o torna capaz de encontrar soluções distintas das já conhecidas. Adicionalmente, realiza modificações nas soluções de forma a evitar a estagnação em uma única região do espaço de busca. Com isso é possível explorar o espaço de maneira ampla. A mutação assegura que a probabilidade de chegar a qualquer ponto do espaço de busca nunca é zero, além de contornar o problema de mínimos locais, pois este mecanismo altera levemente a direção de busca (WANG et al., 2010).

Este tipo de mecanismo previne a estagnação da população em ótimo local e provoca o aumento da diversidade. A mutação é disparada durante o processo evolutivo segundo certa probabilidade. Caso a probabilidade de mutação seja muito alta, a busca torna-se essencialmente aleatória. Como referência, o operador de mutação é aplicado aos indivíduos com uma taxa que varia de  $(0 \leq P_m \leq 1)$ . Normalmente se utiliza uma taxa de mutação pequena  $(0,001 \leq P_m \leq 0,1)$ , pois é um operador genético secundário. Alguns operadores de mutação (LINDEN, 2012):

i. **Mutação por troca – Exchange Mutation (EM):** de forma aleatória selecionam-se dois pontos e troca suas posições aleatoriamente e de forma reversa a partir de alguma posição do subroteiro resultante (cf. Figura 31), (BANZHAF, 1990).

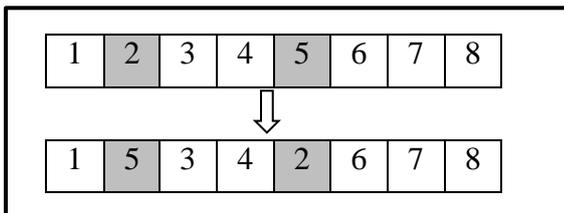


Figura 31. Mutação por troca

iii. **Mutação por inserção – Insertion Mutation (ISM):** o seu funcionamento consiste em escolher aleatoriamente um ponto da matriz, removê-lo e inserir novamente em outra posição também aleatória (MICHALEWICZ, 1992). A Figura 32 apresenta dois cromossomos em que é retirado o valor 4 da sua posição original e inserido após o valor 6.

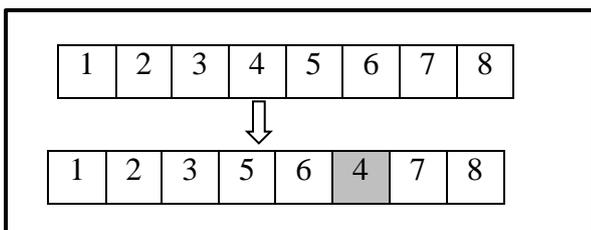


Figura 32. Mutação por inserção

iii. **Mutação por simples inversão - Simple Inversion Operation (SIM):** seleciona-se aleatoriamente dois pontos de corte na matriz e na sequência inverte-se as posições no trecho entre os pontos de corte (cf. Figura 33), (HOLLAND, 1975).

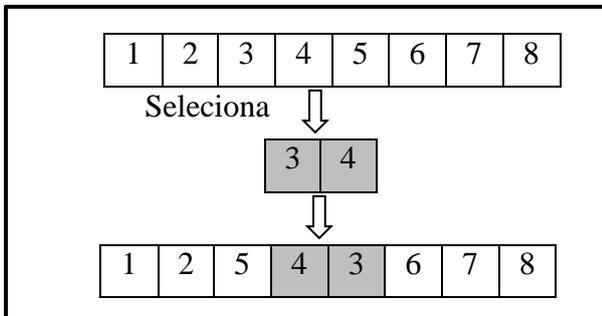


Figura 33. Mutação por simples inversão.

iv. **Mutação por deslocamento - Displacement Mutation (DM):** uma rota escolhida aleatoriamente é removida e inserida em outro lugar aleatório (cf. Figura 34), (MICHALEWICZ, 1992).

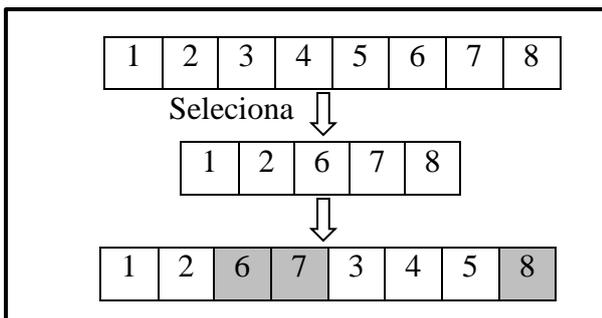


Figura 34. Mutação por deslocamento

v. **Mutação por inversão - Inversion Mutation (IVM):** Semelhante ao operador de mutação por deslocamento (FOGEL, 1992). Seleciona e remove uma subrota e insere de forma inversa em outro local (cf. Figura 35).

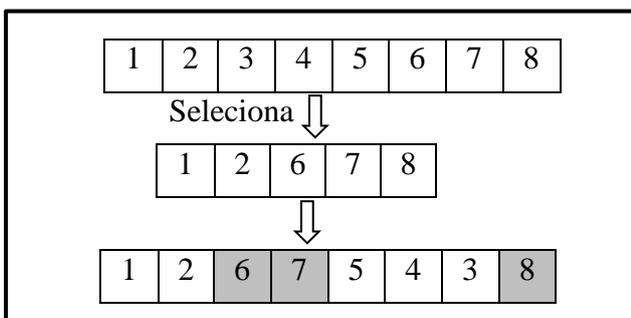


Figura 35. Mutação por inversão

Após um dos operadores de mutação ser executado, o processo de geração de uma nova população é concluído com o processo de evolução de uma população.

### Atualização

A população antiga é substituída por uma nova população, formada pelo cruzamento dos indivíduos selecionados. As formas mais conhecidas de atualização são (SOUCEK e IRIS, 1992):

- i. *estratégia soma* ( $x+y$ ): Os  $x$  ancestrais geram  $y$  descendentes. A seguir, os  $x$  ancestrais e os  $y$  descendentes competem pela sobrevivência;
- ii. *estratégia vírgula* ( $x,y$ ): Os  $y$  descendentes competem para sobreviver e os ancestrais são completamente substituídos a cada geração.

### Finalização

É responsável por determinar se a execução do algoritmo genético (evolução da população) será concluída ou não. Esta ação é realizada a partir da execução de testes com base em uma condição de parada pré-estabelecida que possa variar desde a quantidade de gerações desenvolvida até o grau de proximidade dos valores de aptidão de cada cromossomo de determinada população (GOLDSCHIMIDT, 2010; ALY e AL-HAMEED, 2013).

## 1.6 Parâmetros Genéticos

A definição dos parâmetros utilizados influencia no desempenho de um algoritmo genético. Sendo assim, é interessante analisar a forma como os parâmetros podem ser utilizados no contexto para atender as necessidades do problema, bem como determinar os recursos disponíveis (JONG, 1980). A seguir são discutidos alguns critérios para a escolha dos principais parâmetros a ser utilizados nesta tese:

**Tamanho da População:** define quantos cromossomos existem na população (em uma geração). O tamanho da população impacta no desempenho global e eficiência do algoritmo genético. Se houver poucos cromossomos, o algoritmo genético terá pouca possibilidade de realizar cruzamentos e somente uma parte pequena do espaço de soluções será explorada. Por outro lado, se houver muitos cromossomos, os algoritmos genéticos tornar-se-ão lentos, previne convergência prematura para soluções locais em vez de globais. Entretanto, são necessários grandes recursos computacionais para trabalhar com grandes soluções.

**Taxa de Cruzamento:** define a frequência que o cruzamento é realizado. Se a probabilidade de cruzamento é 100%, então toda a descendência é produzida por cruzamento. Se a probabilidade é 0%, toda a nova geração é formada por cópia exata dos cromossomos da população antiga, a busca pode estagnar. Os cruzamentos são realizados para que os novos cromossomos contenham partes boas dos cromossomos antigos e os novos cromossomos possam ser melhores possibilitando assim, a criação de novas estruturas.

**Taxa de Mutação:** define a frequência que as partes dos cromossomos sofrerão mutação. Se a probabilidade de mutação é 100%, todos os cromossomos são alterados, se é 0%, nenhum é alterado. A mutação em geral evita que o algoritmo genético caia num extremo (mínimo ou máximo) local. A mutação não deve acontecer com frequência porquê a utilização de uma taxa alta torna a busca essencialmente aleatória.

**Intervalo de Geração:** controla a porcentagem da população que será substituída para a próxima geração. A utilização de um intervalo grande provoca a substituição da maior parte da população e pode levar à perda de estruturas de alta aptidão. Por outro lado, um intervalo pequeno, o algoritmo pode se tornar lento.

**Critério de Parada:** é possível utilizar diferentes critérios para determinar o fim da execução de um algoritmo genético. Isto pode acontecer quando a aptidão média ou do melhor indivíduo não melhorar ou quando a aptidão dos indivíduos de uma população se tornar muito parecidas. Pode ser utilizado, por exemplo, o critério de parada ao obter a resposta máxima da função objetivo.

## 2. Trabalhos relacionados a AHP e algoritmo genético

O método AHP tem sido aplicado com sucesso nos casos específicos em problemas de decisão. No entanto, pode ocorrer que a matriz final seja inconsistente. A consistência da matriz refere-se às propriedades necessárias da matriz, como transitividade e reciprocidade. A inconsistência pode acontecer por várias razões (SAATY, 1991). Nesses casos, os resultados obtidos por um especialista seriam ineficazes para os objetivos do modelo. Considerando a pouca consistência de uma matriz especializada, a questão principal é criar  $n$  soluções (matrizes semelhantes), que levem a pelo menos uma matriz consistente e similar à matriz original.

Badri e Sedaghat (2017) propõem um sistema com AHP e otimizaram a matriz inconsistente com algoritmo genético para gerar um mapa de risco de derrame de petróleo. Analisam seis tipos de risco que ocorrem no Golfo Pérsico em termos de ecossistema marinho, turismo, pesca, proibição de entrada em praias, fechamento de portos comerciais e de trânsito. Todos esses fatores foram sistematicamente analisados pelo AHP que forneceu uma análise quantitativa das probabilidades de perigos, perdas financeiras e danos ambientais.

Putri e Mahmudy (2017) propõem a otimização da matriz AHP com algoritmo genético para a seleção de agências de tutoria em *Kampung Inggris Pare*. No processo de escolha da agência correta para estudar, o estudante em algumas situações pode não definir o local mais adequado. Assim, um sistema de apoio para selecionar a agência de tutoria correta é necessário em *Kampung Inggris Pare*. No processo de revisão é utilizado o AHP com algoritmo genético para obter resultado mais preciso. Uma das tarefas desafiadoras na implementação do GA é projetar uma representação cromossômica adequada. Nesse estudo, um novo cromossomo é formado com base em comparações pareadas no AHP. Com a otimização do AHP usando algoritmo genético, as correlações foram de 0.951. O valor é maior que o nível anterior de correlação de 0.78. O uso do GA com o AHP fornece um resultado de precisão melhor em comparação com o uso do AHP tradicional.

Yeh et al., (1999) propõem um método que utiliza o algoritmo genético e a função utilidade para sintetizar os pesos das preferências ao implementar a abordagem clássica do AHP. Moneim, (2008) explorou algoritmo genético *fuzzy* em problemas de decisão multicritério. Tratou a inconsistência por meio da razão de coerência e utilizou comparações fuzzy randômicas. Usa exemplos numéricos e compara a aplicação com alguns métodos existentes na literatura. Guan et al., (2009) propõem uma abordagem de usinagem de manufatura digital com base em algoritmo genético e AHP. A abordagem envolve objetivos múltiplos e conflitantes, como: custo, tempo, qualidade, nível de serviço, utilização de recursos, etc. Utiliza o método Pareto multiobjetivo e permite que o engenheiro tome decisões sobre diferentes demandas. O AHP é implementado no procedimento proposto para determinar o valor do peso dos índices de avaliação. São otimizados três objetivos conflitantes, como: custo, qualidade e tempo de operação e mostra que o algoritmo híbrido é confiável e robusto. Costa, (2011) propõe resolver o problema de inconsistência em matrizes do AHP usando algoritmo genético. Nessa abordagem a matriz sofre distúrbios em torno de seus elementos e em seguida esses elementos são parametrizados. Cada indivíduo de uma determinada geração é recomposto na estrutura de outra matriz. Calcula-se a razão de coerência e o grau de não reciprocidade. Aly e Abd El-Hameed, (2013) integraram um modelo de seleção de pessoal e utilizam AHP e algoritmo genético. O modelo minimiza a distância euclidiana do método dos mínimos quadrados como função objetivo. Os resultados do modelo são comparados com outros métodos de priorização na literatura. O AHP-GA classifica o pessoal utilizando critérios qualitativos e quantitativos. Gonçalves et al., (2014) propõem otimização da limpeza de redes de trocadores de calor empregando algoritmos genéticos. Na operação de redes de trocadores de calor, ocorre a deposição sobre a superfície de troca térmica nos equipamentos e diminui a efetividade. Para mitigar esse problema é feita uma programação de limpeza dos trocadores capaz de reduzir o impacto da deposição. Utiliza-se algoritmo genético para identificar a programação ótima das paradas para limpeza. O desempenho do algoritmo foi eficiente ao alcançar a minimização da função objetivo e esforço computacional. Hsu, (2018) utiliza AHP, regressão vetorial de suporte e algoritmo genético

para otimizar o portfólio de investimento de forma sistemática em três estágios simultâneos. A abordagem propõe as seguintes contribuições:

- i) permitir o investidor considerar vários índices financeiros simultaneamente e alterar arbitrariamente a sua importância relativa com base nas suas próprias preferências;
- ii) é possível prever o desempenho do preço das ações no futuro, investigar de forma implícita a mentalidade dos investidores públicos e utilizar indicadores técnicos explícitos;
- iii) o investidor pode considerar tanto o lucro como o risco ao fazer seu investimento, assegurando a sua carteira ótimos investimentos;
- iv) definir o momento ideal para negociar as ações.

He et al., (2018), por sua vez, otimizaram transações com Big Data em energia renovável e basearam-se em algoritmos genéticos vetorial. Utilizaram múltiplas dimensões para configurar o modelo de avaliação. Para abordar o problema na atribuição dos pesos de diferentes aspectos, adotaram o método de avaliação *fuzzy* e baseia-se no AHP. As transações são convertidas em problema de otimização multiobjetivo. O algoritmo genético com base em vetores é usado para resolver o problema de otimização das transações e Pareto fornece a solução das propostas. A precisão do algoritmo proposto é verificada por resultados de simulação de um caso de transação.

Outros trabalhos que utilizam AHP e algoritmos genéticos combinados com sucesso são: Sbeity et al., (2014); Huang e Kuo (2017); Fanei et al., (2018); Wang et al., (2018) e Sajedinejad e Chaharsooghi, (2018).

A maioria desses modelos, como: Guan et al., (2009), Hsu, (2018) e Huang e Kuo (2017), respeitam a condição de reciprocidade e consideram menos importante a condição de transitividade. Consideram que a intransitividade entre as preferências pode ser um fenômeno natural e não consequência de erros de julgamento.

Entre as vantagens que o algoritmo genético oferece, destaca-se a possibilidade de gerar mais de uma solução para cada matriz inconsistente e permite que o decisor tenha um maior número de opções para substituir a matriz original. Entre as opções, há possibilidade de definir a primeira matriz gerada com razão de coerência  $< 10\%$  ou há possibilidade de obter uma matriz com razão de coerência  $\approx$  de zero. O modelo pode ser calibrado de acordo com o tipo de solução que o problema exige. Nessa tese, o algoritmo genético escolhe a matriz consistente com menor razão de coerência, isto é,  $\approx$  de zero.

### 3. Considerações Finais

Esse apêndice faz uma revisão de literatura sobre algoritmos genéticos. Serve de base para o Capítulo 5 que trata do problema de inconsistência matricial AHP, tratável com ajuda da abordagem evolucionista, em particular, algoritmo genético. Este tipo de algoritmo se propõe a buscar e otimizar

soluções de problemas complexos, tais como o AHP. Na Seção 1 foram apresentados os principais conceitos de Computação Evolutiva com foco em algoritmos genéticos. Adicionalmente as seguintes subseções detalham as características de um algoritmo genético, forma de representação de um problema, operadores e parâmetros genéticos. A Seção 2 apresenta e discute trabalhos relacionados a AHP e algoritmo genético. Os trabalhos servem de base para essa tese e alguns operadores e parâmetros desta revisão de literatura, são utilizados no modelo de otimização do problema de inconsistência matricial no Capítulo 5, assim como, os experimentos e resultados no Capítulo 6.